



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ

FACULTAD DE CIENCIAS

**Determinación de las propiedades calorimétricas y
volumétricas de α -aminoácidos en solución acuosas
de meso-eritritol y xilitol a 298.15 K**

Diana Madelén Galindres Jiménez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento de Química

Bogotá, Colombia

2014

**Determinación de las propiedades calorimétricas y
volumétricas de α -aminoácidos en solución acuosas de
meso-eritritol y xilitol a 298.15 K**

Diana Madelén Galindres Jiménez

01197583

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título
de:

Magíster en Ciencias-Química

Directora:

M.Sc. Carmen María Romero Isaza

Profesora Titular

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias

Departamento de Química

Bogotá, 2014

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer infinitamente a Dios quien es mi guía en todos los pasos que doy, a mi familia quienes siempre me están apoyando en todos los proyectos que inició y en todas las decisiones que tomo, por su paciencia y acompañamiento en el proceso

A la Universidad Nacional por brindarme el soporte académico en el laboratorio de Investigaciones básicas, especialmente a mi directora de Tesis, la Profesora Carmen María Romero Isaza, quién me dio la oportunidad de ingresar a su grupo y llevar a cabo el sueño de hacer la maestría, guiando paso a paso mi proceso; al Profesor Luis H. Blanco, Q.E.P.D, por sus valiosas enseñanzas.

A la Universidad de los Andes, la cual me permitió desarrollar parte de mi investigación en el Laboratorio de Termodinámica, pero especialmente al Profesor Edgar Vargas quien me recibió amablemente en su grupo, gracias por sus enseñanzas, paciencia y colaboración en mi proceso, a todos los integrantes de su grupo gracias por su apoyo y colaboración.

A Colciencias por brindarme todo el soporte financiero para desarrollar todo mi proyecto de Investigación.

A los compañeros del Laboratorio de Investigaciones Básicas, especialmente a Francisco Ibla, Yadhi Patricia Cruz, por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Resumen

Las entalpías de dilución y de mezcla de soluciones de ácido 2-aminoetanoico (glicina), ácido 2-aminopropanoico (α -alanina), ácido 2-aminobutanoico (ácido α -aminobutírico), ácido 2-aminopentanoico (norvalina) y ácido 2-aminohexanoico (norleucina) en cuatro mezclas de meso-eritritol-agua y de xilitol-agua a 298,15K fueron determinadas utilizando un microcalorímetro de flujo LKB 10700-1. Con estos resultados y haciendo uso de la teoría de McMillan-Mayer se determinaron los coeficientes entálpicos homotácticos y heterotácticos de interacción.

Se midieron las densidades en función de la concentración y la temperatura de los α -aminoácidos: glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico, norvalina y norleucina en cuatro mezclas de meso-eritritol-agua y de xilitol-agua empleando un densímetro Anton Paar DSA-5000. A partir de los datos experimentales se calculó el volumen molar aparente y el volumen molar parcial a dilución infinita a 293,15 K, 298,15 K, 303,15 K, 308,15 K y 313,15 K. Los resultados permiten calcular la contribución volumétrica de los grupos metileno y de los grupos amino y carboxilo y utilizando la teoría de partícula escalonada se calcularon los volúmenes de interacción.

Los resultados se analizaron en términos del efecto de la concentración sobre las propiedades volumétricas y calorimétricas de los aminoácidos en solución acuosa y del efecto de los polioles usados como cosolventes, considerando a su vez el papel que los polioles ejercen sobre el solvente acuoso. Los resultados se interpretan en términos de las interacciones soluto-soluto y soluto-solvente.

Palabras claves: α -aminoácidos, polioles, volumen molar parcial a dilución infinita, volumen de interacción, entalpía de dilución, coeficiente entálpico de interacción

Abstract

The enthalpy of dilution and mixing of solutions of 2-aminoetanoic acid (glycine), 2-aminopropanoic acid (α -alanine), 2-aminobutanoic acid (α -aminobutyric acid), 2-aminopentanoic acid (norvalina) and 2-aminohexanoic acid (norleucina) in four mixtures of meso erythritol-water and xylitol-water were measured with a LKB flow microcalorimeter at 298,15 K. With this results and using the McMillan Mayer theory, the homotactic and heterotactic enthalpic interaction coefficients were determined.

The densities of the amino acids in meso erythritol-water and xylitol-water were measured as a function of concentration and temperature using an Anton Paar densimeter DSA-5000. From experimental density measurements, the apparent molar volumes and the partial molar volumes at infinite dilution to 293,15K, 298,15K, 303,15K, 308,15K, 313,15K were calculated. The results allowed the calculation of the volumetric groups contribution and using the scaled particle theory the interaction volumes were determined.

The results were analyzed in terms of the effect of concentration on the volumetric and calorimetric properties of the amino acids in aqueous solution and the effect of the polyols used as cosolvents, considering the role of polyols on the aqueous solvent. The results were discussed in terms of solute-solute and solute-solvent interactions.

Keywords: α -amino acids, polyols, apparent molar volume, partial molar volume at infinite dilution, interaction volume, enthalpy of dilution, enthalpic interaction coefficient.

Contenido

Pág.

Resumen	IX
Lista de tablas	XIV
Lista de figuras	XVI
Lista de símbolos y abreviaturas	XIX
Introducción	1
1. Estado del tema	3
1.1. Soluciones acuosas	3
1.2. Interacciones en Solución Acuosa	3
1.3. Modelo de Contribución de Grupo	5
1.4. Soluciones acuosas de los solutos de interés	6
1.4.1. Soluciones acuosas de aminoácidos	6
1.4.2. Soluciones acuosas de alcoholes y polioles	9
1.4.3. Soluciones acuosas de aminoácidos en presencia de polioles	13
2. Propiedades Volumétricas	17
2.1. Sistemas y condiciones experimentales	17
2.2. El equipo	17
2.3. Determinación de propiedades volumétricas	19
2.4. Resultados y análisis	20

XII	Contenido
2.4.1. Volúmenes molares aparentes	20
2.4.2. Volumen molar parcial a dilución infinita	31
2.4.3. Contribución de grupo	41
2.4.4. Efecto de la temperatura sobre las propiedades volumétricas de los aminoácidos en las mezclas poliol-agua	47
2.4.5. El volumen molar parcial a dilución infinita y la teoría de la partícula escalonada	54
3. Propiedades Calorimétricas	63
3.1. Sistemas y condiciones experimentales	63
3.2. El equipo	63
3.3. Calibración del equipo	65
3.4. Resultados y discusión	66
3.4.1. Entalpía de dilución	66
3.4.2. Entalpía de mezcla	71
3.4.3. Coeficientes de interacción homotáticos y heterotáticos	75
4. Conclusiones	80
Recomendaciones	83
Anexos	84
Anexo A. Valores de densidad y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en las mezclas de meso eritritol- agua y xilitol-agua a 293,15K a 313,15K	84
Anexo B. Compresibilidades adiabáticas y térmicas para las soluciones acuosas de meso eritritol y xilitol a 293,15K, 298,15K, 303,15K, 308,15K y 313,1K	113

Contenido

Anexo C. Teoría de la partícula escalonada. Volumen y área superficial de van der Waals calculados para los α-aminoácidos, Coeficientes B1 y B3 para α-aminoácidos en mezcla poliol-agua.	116
Anexo D. Intensidad de corriente y trabajo eléctrico generado para calibración eléctrica del microcalorímetro de flujo LKB 10700-1	123
Anexo E. Potencial, flujos y molalidades utilizados para determinar las respectivas entalpías de dilución de α-glicina, α-alanina, ácido 2-aminobutírico, meso eritritol y xilitol	124
Anexo F. Diferencia de potencial y potencia eléctrica de las mezclas de α-aminoácidos en meso eritritol-agua y xilitol-agua	126
Anexo G. Determinación de las incertidumbres en las medidas experimentales	128
Bibliografía	131

Lista de tablas

Tabla 1. Volumen a dilución infinita de glicina en las mezclas meso eritritol- agua y xilitol agua	32
Tabla 2. Volumen a dilución infinita de α -alanina en la mezcla meso eritritol- agua y xilitol - agua	32
Tabla 3. Volumen a dilución infinita de ácido α -aminobutírico en las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua	35
Tabla 4. Volumen a dilución infinita de norvalina en las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua	36
Tabla 5. Volumen a dilución infinita de norleucina en las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua	37
Tabla 6. Contribuciones volumétricas de los grupos metileno, y amino-carboxilo al volumen molar parcial a dilución infinita de α -aminoácidos en solución acuosa	44
Tabla 7. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de glicina en las mezclas meso-eritritol-agua y xilitol-agua	47
Tabla 8. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de α -alanina en las mezclas meso-eritritol-agua y xilitol-agua	49
Tabla 9. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de ácido α -aminobutírico en las mezclas meso-eritritol-agua y xilitol-agua	50
Tabla 10. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de norvalina en las mezclas meso-eritritol-agua y xilitol-agua	51
Tabla 11. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de norleucina en las mezclas meso-eritritol-agua y xilitol-agua	52
Tabla 12. Volúmenes de cavidad para α -aminoácidos en presencia de meso eritritol-agua	57
Tabla 13. Volúmenes de cavidad para α -aminoácidos en presencia de xilitol-agua	58

Contenido

Tabla 14. Volumen de interacción para α -aminoácidos en presencia de meso eritritol-agua	59
Tabla 15. Volumen de interacción para α -aminoácidos en presencia de xilitol-agua	60
Tabla 16. Entalpías de dilución de soluciones acuosas de glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico a 298,15K	68
Tabla 17. Entalpías de dilución de soluciones acuosas de meso-eritritol y xilitol a 298,15K	70
Tabla 18. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de glicina y eritritol a 298,15K	73
Tabla 19. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de α -alanina y eritritol a 298,15K	73
Tabla 20. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de α -aminobutírico y eritritol a 298,15K	73
Tabla 21. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de glicina y xilitol a 298,15K	74
Tabla 22. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de α -alanina y xilitol a 298,15K	74
Tabla 23. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de α -aminobutírico y xilitol a 298,15K	74
Tabla 24. Coeficientes de Interacción Homotáticos h_{xx} parra glicina, α -alanina y ácido α -aminobutírico en solución acuosa a 298,15K	76
Tabla 25. Coeficientes de Interacción Homotáticos h_{yy} parra meso-eritritol y xilitol en solución acuosa a 298,15K	76
Tabla 26. Coeficientes de interacción heterotáticos entre glicina, α -alanina y ácido α -aminobutírico con meso eritritol en solución acuosa a 298,15K	78
Tabla 27. Coeficientes de interacción heterotáticos entre glicina, α -alanina y ácido α -aminobutírico con xilitol en solución acuosa a 298,15K	78

Lista de figuras

- Figura 1. Volumen molar parcial a dilución infinita como una función del número de grupos CH_2 a 288,15K, 293,15K, 298,15K y 303,15K 8
- Figura 2. Capacidad calorífica molar aparente $C_{p\phi}$ de soluciones acuosas de adonitol, dulcitol, glicerol, meso-eritritol, myo-inositol, D-sorbitol, y xilitol, en función de la temperatura y la molalidad m y $p=0,35\text{MPa}$ 11
- Figura 3. Volumen molar parcial para soluciones acuosas de 1-propanol, 1,2-propanodiol, 1,3-propanodiol y 1,2,3-propanotriol 12
- Figura 4. La variación en h_2 con la fracción de masa de 1-propanol en mezcla de solventes: glicina; L-alanina 15
- Figura 5. Densímetro Anton Paar DSA 5000 18
- Figura 6. Volumen molar aparente de glicina en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones eritritol 0,25054m, eritritol 0,49990m, eritritol 0,74795m y eritritol 0,99734m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 21
- Figura 7. Volumen molar aparente de glicina en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25000m, xilitol 0,49988m, xilitol 0,75012m y xilitol 0,99989m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 22
- Figura 8. Volumen molar aparente de α -alanina en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones eritritol 0,25315m, eritritol 0,50045m, eritritol 0,75015m y eritritol 0,99746m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 22
- Figura 9. Volumen molar aparente de α -alanina en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25000m, xilitol 0,49988m, xilitol 0,75012m y xilitol 0,99989m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 23

Figura 10. Volumen molar aparente de ácido α -aminobutírico en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones eritritol 0,24926m, eritritol 0,50616m, eritritol 0,74628m y eritritol 1,00081m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 24

Figura 11. Volumen molar aparente de ácido α -aminobutírico en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25187m, xilitol 0,49907m, xilitol 0,74787m y xilitol 0,99524m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 26

Figura 12. Volumen molar aparente de norvalina en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones eritritol 0,24981m, eritritol 0,49899m, eritritol 0,74819m y eritritol 0,99998m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 27

Figura 13. Volumen molar aparente de norvalina en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25079m, xilitol 0,50193m, xilitol 0,75397m y xilitol 0,99941m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 28

Figura 14. Volumen molar aparente de norleucina en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones eritritol 0,25315m, eritritol 0,49959m, eritritol 0,75233m y eritritol 0,99875m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 29

Figura 15. Volumen molar aparente de norleucina en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25002m, xilitol 0,50379m, xilitol 0,74497m y xilitol 0,99901m, a 293,15K; 298,15K; 303,15K; 308,15K; 313,15K 30

Figura 16. Volumen molar parcial a dilución infinita de glicina en función de la temperatura en solución acuosa de a) eritritol 0,25054m, eritritol 0,49990m, eritritol 0,74795m y eritritol 0,99734m, b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25000m, xilitol 0,49988m, xilitol 0,75012m y xilitol 0,99989m 39

Figura 17. Volumen molar parcial a dilución infinita de α -alanina en función de la temperatura en solución acuosa de a) eritritol 0,25315m, eritritol 0,50045m, eritritol 0,75015m y eritritol

0,99746m, b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25000m, xilitol 0,49988m, xilitol 0,75012m y xilitol 0,99989m 39

Figura 18. Volumen molar parcial a dilución infinita de ácido α -aminobutírico en función de la temperatura en solución acuosa de a) eritritol 0,24926m, eritritol 0,50616m, eritritol 0,74628m y eritritol 1,00081m, b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25187m, xilitol 0,49907m, xilitol 0,74787m y xilitol 0,99524m 40

Figura 19. Volumen molar parcial a dilución infinita de norvalina en función de la temperatura en solución acuosa de a) eritritol 0,24981m, eritritol 0,49899m, eritritol 0,74819m y eritritol 0,99998m, b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25079m, xilitol 0,50193m, xilitol 0,75397m y xilitol 0,99941m 40

Figura 20. Volumen molar parcial a dilución infinita de norleucina en función de la temperatura en solución acuosa de a) eritritol 0,24964m, eritritol 0,49959m, eritritol 0,75233m y eritritol 0,99875m, b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25002m, xilitol 0,50379m, xilitol 0,74497m y xilitol 0,99901m 41

Figura 21. Efecto de la longitud de cadena sobre el volumen molar parcial a dilución infinita de α -aminoácidos a las diferentes concentraciones de la mezcla meso eritritol-agua en el intervalo de temperatura 293,15K, 298,15K, 303,15K, 308,15K y 313,15K 42

Figura 22. Efecto de la longitud de cadena sobre el volumen molar parcial a dilución infinita de α -aminoácidos a las diferentes concentraciones de la mezcla xilitol-agua en el intervalo de temperatura 293,15K, 298,15K, 303,15K, 308,15K y 313,15K 43

Figura 231. Diagrama esquemático del microcalorímetro de flujo LKB 10700-1 64

Figura 24. Curva de calibración eléctrica para el microcalorímetro de flujo LKB 10700-1 a 298,15K 67

Figura 25. Entalpías de dilución de soluciones acuosas de glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico a 298,15K	69
---	----

Figura 26. Entalpías de dilución de soluciones acuosas de meso eritritol y xilitol	70
--	----

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
M	Masa molar	$\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$
m	Masa	Kg
m	Molalidad	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$
n	Número de moles	Mol
n	Número de grupos metileno	-----
P	Presión	Pa
R	Constante de los gases	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\text{ K}$
R	Resistencia	Ω
T	Temperatura absoluta	K
V	Volumen total	m^3
\bar{V}_2^0	Volumen molar parcial a dilución infinita del soluto	$\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$
A	Área	m^2
A_w	Área superficial de van der Waals	m^2
B_1, B_2	Parámetros de interacción	-----
\bar{E}_2^0	Expansibilidad molar parcial a dilución infinita del soluto	$\text{m}^3\cdot\text{K}^{-1}$
E	Diferencia de potencial	V
ℓ	Incertidumbre	-----
F	Flujo de masa	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
f	Factor de corrección	-----

Contenido		XX
H	Entalpía	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$
h_{xx}, h_{xxx}	Coeficiente entálpico de interacción entre dos y tres moléculas de soluto	$\text{J kg}\cdot\text{mol}^{-2}$, $\text{J kg}\cdot\text{mol}^{-3}$
I	Intensidad de corriente	A

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
Δ	Cambio	-----
ρ	Densidad	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
ε	Constante de calibración del calorímetro	$\text{W}\cdot\text{V}^{-1}$
α	Posición α del grupo amino	-----
β_{TO}	Compresibilidad isotérmica del solvente	Pa^{-1}

Subíndices

Subíndice	Término
1	Soluto
2	Solvente
c	Cavidad
cal	Calibración
dil	Dilución
f	Final
i	Inicial
i	Interacción
L	Vacío o libre
M	“Core” molecular
r	Referencia
sln	Solución

W Van der Waals

Superíndices

Superíndice	Término
0	Dilución infinita
E	Exceso
s	Superficial

Introducción

Durante años se le ha dado gran importancia al estudio de solutos de interés biológico debido a que estos pueden aportar información significativa sobre diversos procesos que se llevan a cabo en la naturaleza y en los seres vivos, además de procesos que se llevan a cabo en la industria. En los últimos años ha habido un creciente interés en dilucidar el papel que juega el agua en los sistemas biológicos, buscando entender las propiedades fisicoquímicas de las biomoléculas y las interacciones que se puedan generar entre éstas.

Las propiedades termodinámicas de una solución dependen de la naturaleza de las moléculas constituyentes, de las interacciones soluto-soluto, solvente-solvente y soluto-solvente. La dependencia de una propiedad con la concentración de soluto es consecuencia de la interacciones soluto-soluto, también el valor de la propiedad a dilución infinita refleja el efecto de las interacciones soluto-solvente.

En el caso de soluciones acuosas la determinación de la naturaleza y magnitud de las fuerzas de interacción es compleja debido a que no hay una explicación definitiva sobre temas como la estructura misma del agua líquida y el papel de las interacciones hidrofílicas e hidrofóbicas en solución acuosa. La situación por lo tanto es mucho más compleja en el caso de moléculas de interés biológico como péptidos y proteínas. Las propiedades termodinámicas de estas moléculas en agua y en soluciones acuosas muestran un comportamiento muy complejo y de difícil interpretación debido a la complejidad estructural que dichas moléculas poseen; por esta razón se ha recurrido a estudiar solutos más simples como el caso de aminoácidos, polioles, entre otros que puedan dar información que contribuya a entender el comportamiento de las proteínas.

Se han realizado numerosos estudios sobre el comportamiento y las propiedades termodinámicas de los α -aminoácidos y de los polioles, en solución acuosa, pero son pocos los estudios que se han hecho sobre éstas propiedades en sistemas ternarios. Por esta razón, el propósito de este trabajo fue estudiar el efecto de la presencia de meso-eritritol y xilitol sobre el comportamiento de las propiedades volumétricas como volumen molar aparente y volumen molar parcial a dilución infinita; y propiedades calorimétricas como entalpía de dilución y entalpía de mezcla de soluciones acuosas de los α -aminoácidos: ácido 2-aminoetanoico (glicina), ácido 2-aminopropanoico (α -alanina), ácido 2-aminobutanoico (ácido α -aminobutírico), ácido 2-aminopentanoico (norvalina) y ácido 2-aminohexanoico (norleucina). Aunque no estaba previsto en el trabajo de investigación, fue posible determinar las propiedades volumétricas en función de la temperatura y la concentración, debido a la sensibilidad del densímetro con el cambio de temperatura, mientras que con las propiedades calorimétricas no fue posible trabajar en función de la temperatura, debido a la sensibilidad del calorímetro de flujo, además no fue posible determinar las entalpías de dilución de norvalina y norleucina debido a que estas presentan baja solubilidad y a las concentraciones trabajadas para estos solutos, no se evidencio cambio en el potencial, a partir de estos resultados se interpretan cómo se modifican las interacciones aminoácido-agua y aminoácido-aminoácido debido a la presencia de éstos polioles,

Esta serie de aminoácidos fue escogida debido al aumento sistemático de la longitud de la cadena hidrocarburo y los polioles fueron seleccionados ya que se consideran estabilizantes de la conformación nativa de proteínas y por ello es de interés conocer su efecto sobre el comportamiento de las propiedades termodinámicas de las soluciones acuosas. La serie de aminoácidos, así como los polioles seleccionados permitieron evaluar el efecto que tiene la estructura del poliol, así como la longitud de la cadena hidrocarbonada del aminoácido, sobre las interacciones que se presentan en solución acuosa. Además el estudio fisicoquímico de estos sistemas permitió cuantificar los cambios energéticos y volumétricos asociados al proceso de mezcla e interpretar estos cambios en términos de las interacciones aminoácido – solvente acuoso.

Los resultados obtenidos en este trabajo son novedosos y dan información importante acerca del comportamiento de aminoácidos en soluciones acuosas de polioles y sobre el efecto del incremento del número de grupos hidroxilo en el comportamiento termodinámico de estos

solutos. A su vez la información obtenida contribuye a la interpretación del efecto que tiene la relación entre el número de grupos polares y apolares de los alcoholes en la estabilidad de proteínas, complementando así los estudios que se desarrollan en el proyecto “*Estudio Físicoquímico de Interacciones en Solución acuosa*” dirigido por la profesora Carmen María Romero Isaza que hace parte del grupo de Termodinámica Clásica de Soluciones de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

1. Estado del tema

1.1. Soluciones acuosas

En los últimos años, ha surgido un creciente interés en dilucidar el papel que juega el agua en los sistemas biológicos, debido a que la actividad realizada por éstos y las propiedades fisicoquímicas de las biomoléculas, dependen fuertemente del ambiente acuoso y en general de la estructura y naturaleza del solvente [1,2] en que se encuentran.

Desde principios del siglo XX, se entendía la importancia del agua, debido a que se consideraba que era el constituyente de todas las cosas, a pesar de que aparenta ser una molécula bastante simple, tiene propiedades anómalas como ninguna otra molécula, tales como existir de manera natural en la tierra, existir en los tres estados de la materia a condiciones normales de presión y temperatura, alta tensión superficial, altos puntos de fusión y ebullición, alta capacidad calorífica, altos valores de entropía y entalpía de vaporización y la temperatura de máxima densidad. Además, se considera el líquido que más sustancias disuelve, por eso se dice que es el disolvente universal. Esta propiedad, tal vez la más importante para la vida, se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno consigo misma o con otras sustancias [3].

Debido a que el agua se caracteriza por poseer este complejo conjunto de propiedades, no es fácil aproximarse a su conocimiento estructural, por esta razón se opta por estudiar el comportamiento y las interacciones del ésta con diferentes solutos, por ejemplo el caso de los solutos mixtos, debido a que a partir de éstos se puede obtener información significativa sobre el

efecto de grupos polares y apolares sobre la estructura del solvente y a su vez permite entender las interacciones que se dan entre estos grupos y el agua.

1.2. Interacciones en solución acuosa

Las propiedades termodinámicas de las soluciones dependen de la naturaleza de las moléculas constituyentes y de las interacciones que presentan, por ello la determinación de estas propiedades, ofrece aportes importantes al esclarecimiento de las fuerzas predominantes presentes en la interacción soluto-agua [4]. En las soluciones se pueden presentar tres tipos de interacciones: interacciones soluto-solvente, solvente - solvente y soluto- soluto que dan lugar a comportamientos bien diferentes.

Dentro de las interacciones soluto-solvente es posible mencionar la hidratación hidrofóbica ó interacción entre grupos apolares con el agua, la cual resulta de la tendencia que tiene el agua para formar estructuras organizadas alrededor de superficies no polares, por esta razón se considera a los solutos apolares como formadores de la estructura del agua e hidratación hidrofílica ó interacción entre los grupos polares con el agua [5].

“Los solutos no electrolíticos son divididos en dos clases: típicamente acuosos y típicamente no acuosos. “Al evaluar el comportamiento de los dos tipos de solutos, se pueden caracterizar por el dominio del factor entálpico ΔH^E o del término entrópico $T\Delta S^E$ en el proceso de solución, teniendo en cuenta los volúmenes molares de exceso. Los solutos típicamente acuosos, también llamados solutos hidrofóbicos, son solutos apolares como hidrocarburos o solutos polares con una región apolar importante, los cuales se caracterizan porque en el proceso de mezcla el término entrópico $T\Delta S$ domina sobre el entálpico ΔH^E . En este caso la interacción entre el grupo apolar y el agua denominada hidratación hidrofóbica predomina sobre la interacción entre el grupo polar y el agua conocida como hidratación hidrofílica. En contraste, en las mezclas de solutos típicamente no acuosos también llamados solutos hidrofílicos, predomina el termino entálpico sobre el entrópico, es decir, domina la hidratación hidrofílica sobre la hidratación hidrofóbica” [5].

Los solutos mixtos como el caso de los aminoácidos, se caracterizan por poseer grupos hidrofílicos e hidrofóbicos, es decir, en las soluciones acuosas se hacen presentes las interacciones entre los grupos no polares y el agua e interacciones entre los grupos polares y el agua, por esta razón, su comportamiento depende de la magnitud de las interacciones dominantes en los procesos de hidratación

“Cuando se determinan las propiedades volumétricas de las soluciones acuosas y por extrapolación se obtienen las propiedades a dilución infinita se puede estudiar el efecto de la interacción soluto-solvente en ausencia de la interacción soluto-soluto. Al aumentar la concentración del soluto, las interacciones soluto-soluto empiezan a jugar un papel importante y para el caso de solutos apolares o con una cadena apolar importante, aparece la interacción

hidrofóbica que hace referencia a la tendencia que tienen las moléculas o regiones apolares del soluto a interactuar entre sí, promoviendo la exclusión de algunas moléculas de agua. Por otra parte, el efecto hidrofóbico es consecuencia de grandes fuerzas atractivas de los enlaces o puentes de hidrogeno entre las moléculas de agua. Estas fuerzas atractivas se distorsionan al disolverse un soluto en agua y las moléculas de agua se reorientan de manera que puedan participar en la formación de enlaces de hidrogeno. Como resultado, se alcanza en el agua un grado de ordenación local mayor que en el agua líquida pura y se produce una disminución de entropía; esta disminución da lugar a una contribución positiva a la energía de Gibbs desfavorable para la solubilización de solutos no polares en agua” [6].

Según la teoría de McMillan-Mayer [7], en la que se relacionan las propiedades termodinámicas de una mezcla con las interacciones promedio entre las moléculas hidratadas de soluto, es posible representar las propiedades de exceso mediante una ecuación expresada en series de potencias de la molalidad, en donde los coeficientes de esta ecuación hacen referencia a los coeficientes de interacción, los cuales representan la interacción entre pares, tripletas y cuartetos de moléculas, tal como se muestra posteriormente en la ecuación 20 y 24 del capítulo 3. Estos coeficientes de interacción se pueden clasificar en coeficientes homotáticos los cuales hacen referencia a la interacción entre moléculas similares y los coeficientes heterotáticos los cuales se refieren a la interacción entre moléculas de diferente especie. Es de gran importancia conocer la magnitud y el

signo de estos coeficientes, debido a que son un reflejo de la magnitud y signo de las interacciones soluto-soluto en presencia del solvente [7].

1.3. Modelo de contribución de grupo

Se han propuesto modelos de aditividad para solutos orgánicos en agua. Entre estos modelos, tenemos el descrito por Cabani [8], que es aplicado para el volumen molar parcial de iones orgánicos en agua, para calcular la contribución dada por el volumen molar parcial a dilución infinita de grupos cargados. La contribución de grupo ha sido determinada a partir de varios métodos, en general se asume que la contribución de los grupos metilo es independiente de los grupos polares constituyentes, por tanto es igual en los diferentes compuestos orgánicos. Los volúmenes molares parciales tienen una correlación lineal con el número de átomos de carbono que conformen la molécula de una serie homóloga [8]. Según Gianni Paolo [9], el carácter aditivo se debe a que un grupo CH_2 , interactúa con el solvente de manera independiente de los otros grupos metilénicos, por consiguiente en las series homólogas, el primer término muestra mayor desviación que la predicha por la aditividad simple.

De acuerdo a un estudio realizado por Romero y Munar [10], se establece que la contribución del grupo apolar es aditiva en la serie de los α -aminoácidos, pero el valor obtenido para la contribución volumétrica de los grupos metileno es dependiente de la naturaleza y posición que posean los grupos polares vecinos.

Estudios de series homologas de compuestos como alcoholes, aminas, dioles, ácidos carboxílicos [6-11] se han usado para obtener la contribución volumétrica de los grupos metileno así como de los grupos polares y confirmar la aditividad de los distintos grupos constituyentes. Se ha encontrado así que la contribución al volumen molar parcial por incremento de grupo CH_2 es de aproximadamente $16,0 \text{ cm}^3/\text{mol}$. Aun así algunos compuestos dan un valor menor, como es el caso de los aminoácidos, reflejando la electrostricción del agua que se encuentra cerca de las regiones cargadas; en este caso la contribución del grupo CH_2 es de $14,3 \text{ cm}^3/\text{mol}$, pero nuevamente, como se señalaba anteriormente, depende de la posición de los grupos cargados.

En series homologas se observa que si la cadena apolar es lo suficientemente grande, se puede considerar que la contribución del grupo metileno es independiente del grupo polar debido a la separación entre estos, haciendo posible la determinación de la contribución de grupo.

1.4. Soluciones acuosas de aminoácidos y de polioles

1.4.1. Soluciones acuosas de aminoácidos

Los aminoácidos son compuestos fundamentales para el ser humano, puesto que constituyen la base de la estructura de las proteínas por lo que han sido usados para buscar explicaciones sobre el comportamiento termodinámico de las macromoléculas y el estado de solvatación de los péptidos. Las propiedades termodinámicas y de transporte de los aminoácidos en solución acuosa son además de gran importancia en los procesos de la industria biotecnológica y en procesos de bioquímica [6].

Cuando los aminoácidos se encuentran en solución acuosa se caracterizan por poseer propiedades de solvatación, las cuales dependen más de los efectos electrostáticos que de razones estructurales [12]. La configuración más aceptada para las interacciones entre dos moléculas hidratadas de aminoácidos es aquella en la que el grupo amino positivo de un zwitterion interactúa con el grupo carboxilo negativo de la segunda, produciendo de esta manera una perturbación en las esferas de hidratación, ya que tanto los grupos amino como carboxilo son disruptores de estructura en términos de su interacción con el agua [11]

Los aminoácidos son considerados como solutos mixtos simples, por esta razón el estudio de estos solutos en agua brinda información sobre las interacciones que ocurren y el efecto que se lleva a cabo sobre la estructura del agua.

Debido a que éstos compuestos son considerados solutos modelo, los resultados obtenidos se pueden aprovechar para la interpretación del comportamiento de sistemas más complejos como las proteínas. De acuerdo con las propiedades a dilución infinita de los aminoácidos en agua, se puede identificar si hay hidratación hidrofóbica o hidrofílica y en particular cuando se considera el efecto de la temperatura sobre las propiedades. En el caso de la alanina, se aprecia que se puede considerar casi neutral, debido a la compensación entre efectos de hidratación hidrofóbica e interacciones hidrofílicas ion-agua [12]

Se han realizado numerosos estudios sobre el comportamiento y las propiedades termodinámicas de los aminoácidos [10,13-15]. A partir de esto se extrapola la información a las proteínas, buscando interpretar la interacción del grupo apolar de éstas con el agua en soluciones acuosas, debido a que es un factor importante para mantener la estructura nativa de la proteína. En consecuencia la caracterización de las propiedades fisicoquímicas de solutos más simples como los aminoácidos ayuda a entender la estabilidad funcional e interpretar el comportamiento de las proteínas en agua [11]

Se han realizado diversos estudios sobre las propiedades volumetricas de soluciones acuosas de aminoácidos y estos resultados muestran que los datos obtenidos de volumen molar aparente vs molalidad presentan dos comportamientos característicos, uno para la region diluida y otro para la region donde hay mayor concentracion. En la region diluida, se evidencia que el volumen molar parcial aumenta cuando aumenta el número de carbonos de la cadena para diferentes temperaturas. Este aumento tiene una tendencia lineal, mostrando que el aporte del grupo CH_2 al volumen molar parcial a dilucion infinita es aditivo. En la region mas concentrada las interacciones dominantes son soluto-soluto y son de tipo electrostático [16].

Según Zhenning [6] y colaboradores, Los valores obtenidos del volumen molar parcial a dilución infinita para soluciones acuosas de glicina, DL- α -alanina, DL- α -ácido aminobutírico a 288.15K , 298.15K y 308.15K muestran un comportamiento lineal en relación con el número de átomos de carbono y su cadena alquilo a las diferentes temperaturas dadas. Se determinó una contribución del grupo CH_2 de $15,8 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ y se establece que la contribución del grupo NH_3^+ , COO^- incrementa con el incremento de la temperatura.

En un estudio hecho por Negrete y colaboradores [13], sobre las propiedades volumétricas del ácido 2-aminobutirico, norvalina y norleucina en agua se encontró que a todas las temperaturas trabajadas, el volumen molar parcial a dilución infinita incrementa linealmente con el número de grupos CH_2 , como se evidencia en la figura 1, y a su vez se evidencia un incremento proporcional con la temperatura. Este comportamiento es característico de solutos que muestran hidratación hidrofílica. En cuanto al criterio de hidrofobicidad de Hepler, con la segunda derivada, se obtuvieron valores negativos, de lo cual se puede interpretar que las interacciones hidrofílicas predominan sobre las interacciones hidrofóbicas [13].

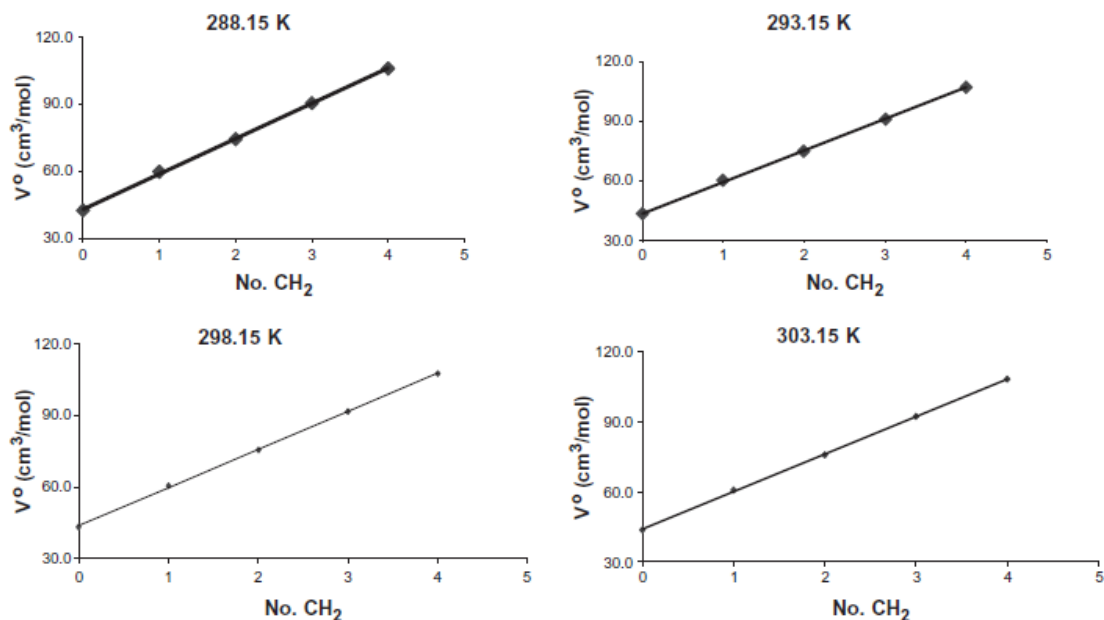


Figura 1. Volumen molar parcial a dilución infinita como una función del número de grupos CH_2 a 288,15K, 293,15K, 298,15K y 303,15K. [13].

En los estudios calorimétricos que se han realizado en soluciones acuosas de aminoácidos se ha encontrado que las entalpías molares parciales son negativas para aminoácidos con cadena lateral apolar mientras que son positivas para los aminoácidos con cadenas polares [17,20]. Se ha encontrado que los coeficientes entálpicos de interacción entre pares para soluciones acuosas de aminoácidos están influenciados por dos efectos, el primero debido a la interacción electrostática y otro debido a la interacción estructural.

De los estudios que se han hecho sobre propiedades termodinámicas de los aminoácidos, la mayoría se han trabajado a concentraciones superiores a 0.01m. Y de los resultados que se han obtenido se asume que el comportamiento observado en esta región de concentración depende fundamentalmente de la interacción electrostática entre los iones y el agua y que dicha interacción es la que predomina a concentraciones inferiores y en consecuencia los valores de las propiedades pueden ser extrapolados a dilución infinita [10]. Sin embargo, otros estudios en sistemas de interés biológico [21] han mostrado que a concentraciones inferiores a 0.01 molal se presentan desviaciones importantes al comportamiento observado a concentraciones superiores, indicando un cambio en las interacciones dominantes a muy baja concentración (0.005 molal). La

tendencia mencionada se presenta en el volumen molar aparente, la viscosidad y la tensión superficial de soluciones acuosas de aminoácidos [10, 13,22].

1.4.2. Soluciones acuosas de alcoholes y polioles

Los polioles se caracterizan por su alta solubilidad en agua, debido a la capacidad que poseen para interactuar con ella, gracias a que el grupo OH y la molécula de agua tiene un parecido significativo, se cree que los alcoholes se incorporan dentro del agrupamiento de las moléculas de agua gracias a la formación de enlaces de hidrógeno.

Se han desarrollado varios estudios [23-28] sobre las propiedades fisicoquímicas de soluciones acuosas de alcoholes, y esto ha tomado gran importancia debido al comportamiento característico y las interacciones que estos pueden presentar en solución. El comportamiento termodinámico que estas sustancias presentan en solución acuosa depende de la longitud de cadena hidrocarbonada y de la presencia de más de un grupo hidroxilo en su estructura, como es el caso de los polioles.

Los alcoholes y polioles de bajo peso molecular presentan una alta solubilidad en agua. Sus soluciones han mostrado un comportamiento característico en algunas propiedades como los mínimos que presentan las propiedades volumétricas que se explica debido a que la parte polar puede interactuar con el agua a través de puentes de hidrogeno, mientras que la parte apolar tiende a reducir el contacto con el solvente produciendo un ordenamiento de las moléculas de agua vecinas. Este comportamiento característico disminuye a medida que se hace más larga la parte polar del alcohol, aumentando así el carácter hidrofóbico de la molécula [29].

Para alcoholes alifáticos Jolicoeur y Lacroix [27], determinaron una contribución de grupo para el grupo CH₂ de 15.9 cm³.mol⁻¹, para el OH de 11 cm³.mol⁻¹ y para el CH (terminal) de 12 cm³.mol⁻¹. Los cambios en el volumen molar parcial a dilución infinita por la adición de más grupos OH en la cadena hidrocarbonada de un alcohol no se ve sensiblemente afectada [23-26].

Blodgett [28] reporta volúmenes molares aparente y capacidades caloríficas molares aparentes para diferentes polioles incluidos meso-eritritol y xilitol a un rango de temperatura de 278,15K a 368,15K. El volumen molar aparente aumenta a medida que aumenta la temperatura, y es mayor

el valor obtenido para xilitol que para meso-eritritol, a su vez existe una relación directa con la concentración puesto que tienden a aumentar. En cuanto a la capacidad calorífica molar para estos polioles, se evidencia que esta aumenta de manera directamente proporcional en función de la concentración y de la temperatura, como se puede observar en la figura 2.

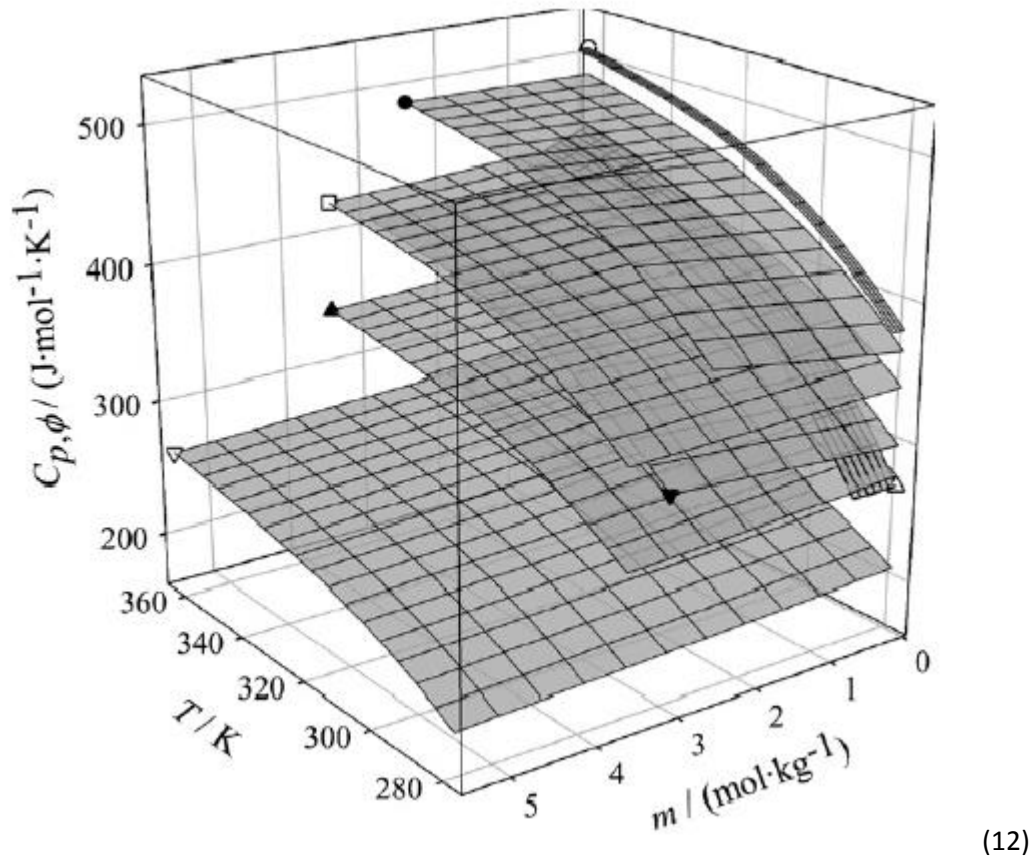
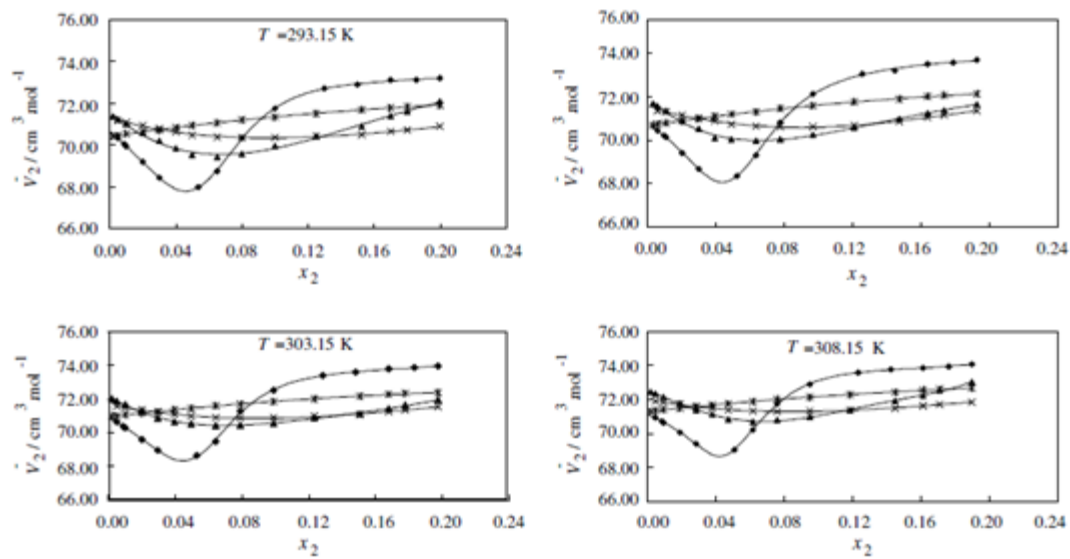


Figura 2. Capacidad calorífica molar aparente $C_{p,\phi}$ de soluciones acuosas de adonitol (\square), dulcitol (\circ), glicerol (∇), meso-eritritol (\blacktriangle), myo-inositol (\triangle), D-sorbitol (\bullet), y xilitol (\blacktriangledown), en función de la temperatura y la molalidad m y $p=0,35\text{MPa}$. [28].

Romero, Lozano y Giraldo [24], encontraron que el volumen molar aparente en función de la fracción molar de alcoholes y polioles como 1-butanol, 1,2-butanodiol, 1,4-butanodiol, 1,2,4-butanotriol y butanotetrol se incrementa con el aumento de temperatura. En la región de alta dilución el volumen molar aparente para estos compuestos decrece cuando incrementa la concentración y cuando se evidencia un aumento en la temperatura. Los resultados muestran que

a temperatura constante la adición de grupos OH no causa cambios sensibles en las propiedades volumétricas y esta contribución no presenta una dependencia clara en la posición del grupo OH. Para todas las temperaturas, el valor más alto para el volumen molar parcial a dilución infinita es para el 1,4-butanodiol. En el caso de los dioles y polioles la diferencia entre el volumen molar parcial a dilución infinita es relacionada con la posición del grupo OH.

En un estudio hecho por Romero, Páez y Pérez [25], encontraron que el volumen molar parcial en la región de alta dilución, de 1-propanol, 1,2-propanodiol, 1,3-propanodiol decrece con el incremento de la fracción molar que se trabajó en un rango de 0,0020 a 0,2000, la primera derivada muestra valores negativos, y la solución exhibe el mínimo en la región rica en agua característico de estas soluciones a todas las temperaturas consideradas que son: 283,15K, 288,15K, 293,15K, 298,15K, 303,15K y 308,15K. Este comportamiento se atribuye a solvatación hidrofóbica por agua a los grupos alquilo. Se obtiene el siguiente comportamiento hidrofóbico 1-propanol > 1,2-propanodiol > 1,3-propanodiol. La tendencia observada muestra que el 1-propanol presenta el comportamiento más hidrofóbico, el cual disminuye cuando el número de grupos OH incrementa. Para el 1,2,3-propanotriol presenta un comportamiento diferente, no se evidencia un mínimo en las gráficas, evidenciándose en un comportamiento con pendiente positiva, mostrando un comportamiento de solutos hidrofílicos, de esto se deduce que la presencia de la cadena hidrocarbonada no tiene un efecto significativo en la estructura del agua; este comportamiento es dominante para las interacciones de enlaces de hidrógeno entre grupos OH y moléculas de agua. En la figura 3, se evidencia que el mínimo depende del número y la posición de los grupos OH, y este mínimo va decreciendo a medida que aumenta la cantidad de OH en la estructura [25]



(9)

Figura 3. Volumen molar parcial para soluciones acuosas de (♦) 1-propanol, (■) 1,2-propanodiol, (▲) 1,3-propanodiol y (×) 1,2,3-propanotriol [25].

En el estudio de Cibulka y colaboradores [26], se encuentra que los volúmenes molares aparentes no son función aditiva del número de grupos hidroxilo, es decir, el carácter hidrofílico de estos grupos, es más bajo cuando los grupos OH se encuentran en carbonos adyacentes que cuando se encuentran en carbonos separados, al menos a un carbono de distancia. Esto es documentado con los valores de contribución estructural de los grupos OH que fueron encontrados. También se observa que la contribución de grupo de grupos hidroxilo decrece cuando hay un incremento en la temperatura.

Estudios experimentales [30-33], han mostrado que los volúmenes molares parciales y la entalpía molar de exceso en función de la concentración, confirman la influencia del tamaño y la geometría de la cadena hidrocarbonada sobre el proceso de hidratación, además de la influencia que tiene la posición y el número de grupos OH en el caso de los polioles sobre la estructura del agua. Se evidencia un mayor comportamiento hidrofóbico en el caso de dioles con grupos hidroxilo vecinos, pues la cadena hidrocarbonada está más expuesta al solvente. El comportamiento depende además de la capacidad de la molécula para formar puentes de hidrogeno inter o intramoleculares. Por otra parte, la presencia de varios grupos hidroxilo en la

molécula genera una disminución de las interacciones apolares lo cual se refleja por la disminución en los volúmenes de exceso y de la capacidad calorífica en función de la temperatura.

1.4.3. Soluciones acuosas de aminoácidos en presencia de polioles

Estudios sobre las propiedades volumétricas de aminoácidos en presencia de alcoholes [22,34-36] muestran que el volumen molar aparente para alanina en la solución acuosa de etanol es más bajo, con respecto a los valores correspondientes en agua. Se observa que el volumen molar aparente a dilución infinita decrece a medida que incrementa la fracción molar del etanol. Para las soluciones concentradas de etanol, el volumen molar aparente a dilución infinita muestra un incremento apreciable. Se evidencia un comportamiento similar para el volumen molar de transferencia.

El volumen molar aparente varía linealmente con la concentración de soluto; la pendiente experimental S_v para la alanina es más pequeña para soluciones diluidas de etanol y aumenta con la concentración de éste. El valor de S_v para las soluciones más concentradas de etanol es negativo, por lo cual se puede deducir que la alanina en agua actúa como disruptor de estructura [22].

En otros estudios como el de Min Liu y colaboradores [34], se encontró que los valores del volumen de transferencia de N-glicilglicina son positivos e incrementan con la molalidad del xilitol, lo cual se interpreta por las interacciones soluto-solvente. Los valores positivos de los volúmenes de transferencia sugieren que en la solución ternaria, los iones hidrofílicos y las interacciones de los enlaces de hidrógeno son predominantes sobre las interacciones de los grupos hidrofílicos-hidrofóbicos.

Los coeficientes de interacción entálpicos h_{xx} de diglicina en agua y en solución acuosas de xilitol de diferentes molalidades son negativos, lo cual muestra que las interacciones dipolo-dipolo, ion-grupo hidrofílico y las interacciones de enlaces de hidrógeno son predominantes sobre las interacciones de grupos hidrofóbicos-hidrofílicos. Los valores de h_{xx} de diglicina en solución acuosa de xilitol se hacen menos negativas cuando incrementa la concentración de xilitol. Esto se

debe al incremento de los efectos de deshidratación de moléculas de soluto causado por el incremento de la molalidad de xilitol, lo cual cancela parte de las interacciones exotérmicas [34].

Se han realizado estudios sobre el efecto de diversos compuestos, entre ellos alcoholes, sobre el comportamiento de aminoácidos en solución acuosa [37-38].

Es de resaltar un estudio calorimétrico de soluciones acuosas de aminoácidos en agua y en presencia de 1-propanol ya que permitió establecer las contribuciones de las distintas interacciones a los coeficientes de interacción aminoácido-propanol

- “Interacción iónica-hidrofílica entre los centros del zwitterion del aminoácido y el grupo hidroxilo de 1-propanol, lo cual muestra una contribución negativa a h_{xx} .
- Interacción iónica-hidrofóbica entre los centros del zwitterion de aminoácido y la cadena hidrocarbonada de 1-propanol, mostrando una contribución positiva a h_{xx} .
- Interacción hidrofóbica-hidrofílica entre la porción no polar del zwitterion de alanina y el grupo hidroxilo de 1-propanol, lo que implica una contribución positiva a h_{xx} .
- Interacción hidrofóbica-hidrofílica entre la porción no polar del zwitterion de alanina y la cadena hidrocarbonada de 1-propanol, implicando una contribución positiva a h_{xx} ” [37].

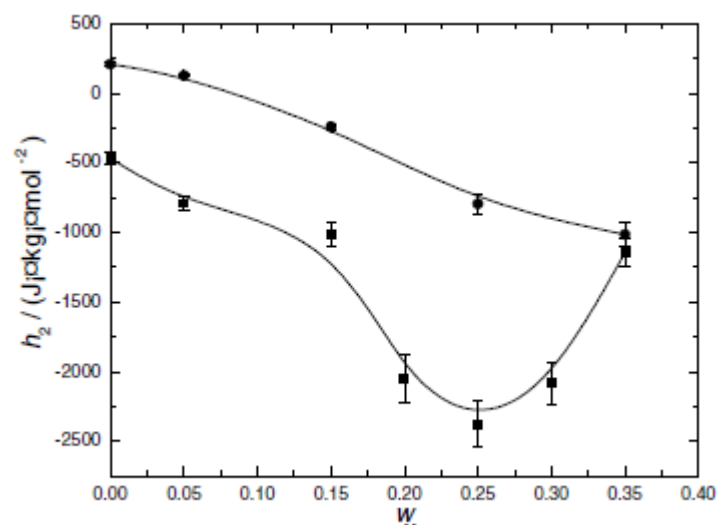


Figura 4. La variación en h_{xx} con la fracción de masa de 1-propanol en mezcla de solventes: ■ glicina; ● L-alanina [37].

En la gráfica 4, se evidencian valores negativos de h_{xx} para interacciones glicina-glicina en solución acuosa de 1-propanol indicando que predominan las interacciones iónicas-hidrofílicas e interacciones iónicas-iónicas. El valor positivo de h_{xx} para interacción alanina-alanina en mezcla de 1-propanol-agua indica que predominan las interacciones hidrofóbicas, esto se debe a las interacciones que se dan entre los centros de zwitterion de la alanina con el grupo hidroxilo de 1-propanol [37].

Los trabajos calorimétricos realizados por Liu, Lin y Zhang [39] en soluciones acuosas de aminoácidos en presencia de imidazol permitieron evidenciar que las interacciones resultan de la contribución de tres efectos:

- “Deshidratación parcial de las moléculas de aminoácido. La deshidratación es causada por penetración mutua de las esferas de hidratación de moléculas interactuando en medio acuoso”
- “Deshidratación parcial de las moléculas de imidazol”
- “Interacción directa de moléculas de aminoácidos y moléculas de imidazol”

Entre estas interacciones, el efecto de deshidratación parcial de las moléculas de imidazol es asumido por los autores como constante, las diferencias observadas en los valores de los coeficientes heterotácticos de interacción entálpica h_{xy} dependen del equilibrio competitivo entre el efecto de deshidratación parcial de las moléculas de aminoácidos y la interacción directa de las moléculas de aminoácido e imidazol [39].

Otro estudio de gran interés respecto al tema tratado, como el de Yu y colaboradores [37] tiene que ver con la determinación de los coeficientes de interacción entálpica de algunos α -aminoácidos con 1,2 etanodiol en solución acuosa a 298.15 K, en el cual se determinó que el proceso de interacción de dos especies solvatadas puede ser representado por los siguientes procesos:

- “La deshidratación parcial de las esferas de hidratación de los zwitteriones de α -aminoácidos, haciendo positiva la contribución a h_{xy} ”
- “La deshidratación parcial de las esferas de hidratación de 1,2-etanodiol, haciendo positiva la contribución a h_{xy} .”

- “La interacción directa, la cual juega un papel dominante en el proceso de interacción entre moléculas de α -aminoácidos y 1,2-etanodiol que tiene una contribución negativa.”

Los coeficientes h_{xy} obtenidos tienen la siguiente secuencia:

$h_{xy}(\text{L-valina}) > h_{xy}(\text{L-serina}) > h_{xy}(\text{L-alanina}) > h_{xy}(\text{glicina})$.

mostrando que la magnitud del coeficiente de interacción disminuye con la longitud de la cadena apolar del aminoácido [37].

La configuración que más se ha aceptado para las interacciones entre dos moléculas hidratadas de aminoácidos es aquella en la que el grupo amino positivo de un zwitterion interactúa con el grupo carboxilo negativo de la segunda, produciendo de esta manera una perturbación en las esferas de hidratación, ya que tanto los grupos amino como los carboxilo son disruptores de estructura en términos de su interacción con el agua.

2. Propiedades Volumétricas

2.1. Sistemas y condiciones experimentales

Los reactivos usados fueron ácido 2-aminoetanoico (glicina) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), ácido 2-aminopropanoico (α -alanina) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), ácido 2-aminobutanoico (ácido α -aminobutírico) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), ácido 2-aminopentanoico (norvalina) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), ácido 2-aminohexanoico (norleucina) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), meso-eritritol ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich) y xilitol ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich). Los polioles fueron escogidos debido a la propiedad que tiene los polioles como estabilizantes de proteínas [40-43]

El agua utilizada fue doblemente destilada, según las recomendaciones de literatura [41] y luego desgasificada por medio de ultrasonido antes de su uso. La conductividad del agua siempre fue inferior a $2 \mu\text{s cm}^{-1}$.

Todas las soluciones fueron preparadas por pesada en una balanza Mettler AT-261 de doble rango, con sensibilidad de 10^{-5} g en el rango inferior. Las temperaturas a las que se realizaron las medidas fueron 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K y 313,15K.

2.2. El equipo

Las densidades fueron obtenidas empleando un densímetro Anton Paar DSA5000 que proporciona una incertidumbre de $1 \cdot 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^3$ y controla la temperatura mejor a 0.01 K.

La técnica que emplea el densímetro para la determinación se basa en el principio de oscilación mecánica, regido por las leyes del movimiento armónico simple. El fundamento de la medida se basa en el cambio de la frecuencia natural de resonancia que experimenta el oscilador cuando este contiene diferentes líquidos a una temperatura determinada. La calibración se realiza con agua y con aire a cada temperatura de acuerdo con los procedimientos recomendados por el fabricante y con ella se obtienen los valores de las constantes de calibración [42]. La muestra es introducida dentro de un tubo en U de borosilicato que es excitado para vibrar a su frecuencia electrónica característica. Esta frecuencia cambia dependiendo la densidad de la muestra y la temperatura a la cual se esté trabajando.

Esta técnica de medida de densidades de líquidos ofrece una alta precisión, exactitud y sencillez de manejo con respecto a otras técnicas y requiere para su calibración tan solo aire y agua.

La diferencia entre la densidad de la solución ρ y el solvente ρ_0 se relaciona con el respectivo periodo de oscilación mecánica del tubo, τ, τ_0 de acuerdo con la relación:

$$\rho - \rho_0 = K(\tau^2 - \tau_0^2) \quad (1)$$

En la ecuación 1, K es la constante de calibración que depende de la temperatura. El valor de la constante de calibración es determinado a partir de los periodos de oscilación de por lo menos dos fluidos de densidad conocida, generalmente agua y n-heptano a la temperatura seleccionada.

Para la determinación de la densidad, los líquidos puros y las mezclas se introducen lentamente en la celda del densímetro utilizando una jeringa. El protocolo experimental se desarrolla de acuerdo con las recomendaciones de literatura [42].



Figura 5. Densímetro Anton Paar DSA 5000

2.3. Determinación de propiedades volumétricas

Los volúmenes molares parciales se determinaron a partir de medidas de densidad de cada una de las soluciones acuosas de los α -aminoácidos en la mezcla de solvente binario poliol-agua, teniendo en cuenta lo siguiente: El volumen molar aparente, V_ϕ , se determinó a partir de los datos de densidad obtenidos para cada solución, mediante la siguiente expresión:

$$V_\phi = \frac{M}{\rho} + \frac{1000 (\rho_0 - \rho)}{m \rho \rho_0} \quad (2)$$

Donde M es la masa molar del soluto, m es la concentración molal de la solución, ρ y ρ_0 son las densidades de la solución y el solvente respectivamente. A partir de los datos de los volúmenes molares aparente, por extrapolación y ajustándolos a una ecuación de segundo orden, se obtuvieron los datos de los volúmenes molares parciales a dilución infinita:

$$V_\phi = V_\phi^o + am + bm^2 \quad (3)$$

Donde V_{ϕ}° corresponde al volumen molar aparente a dilución infinita y a y b son parámetros experimentales.

En la ecuación 4, puede verse que cuando la concentración del soluto tiende a cero el volumen molar aparente es igual al volumen molar parcial a dilución infinita \bar{V}_2^0 :

$$\bar{V}_2^{\circ} = V_{\phi}^{\circ} + n_2 \left[\frac{\partial \phi V_2}{\partial n_2} \right]_{T,P,n_1} \quad (4)$$

Es decir, en el límite cuando la molalidad del soluto tiende a cero:

$$\bar{V}_2^{\circ} = V_{\phi}^{\circ} \quad (5)$$

2.4. Resultados y análisis

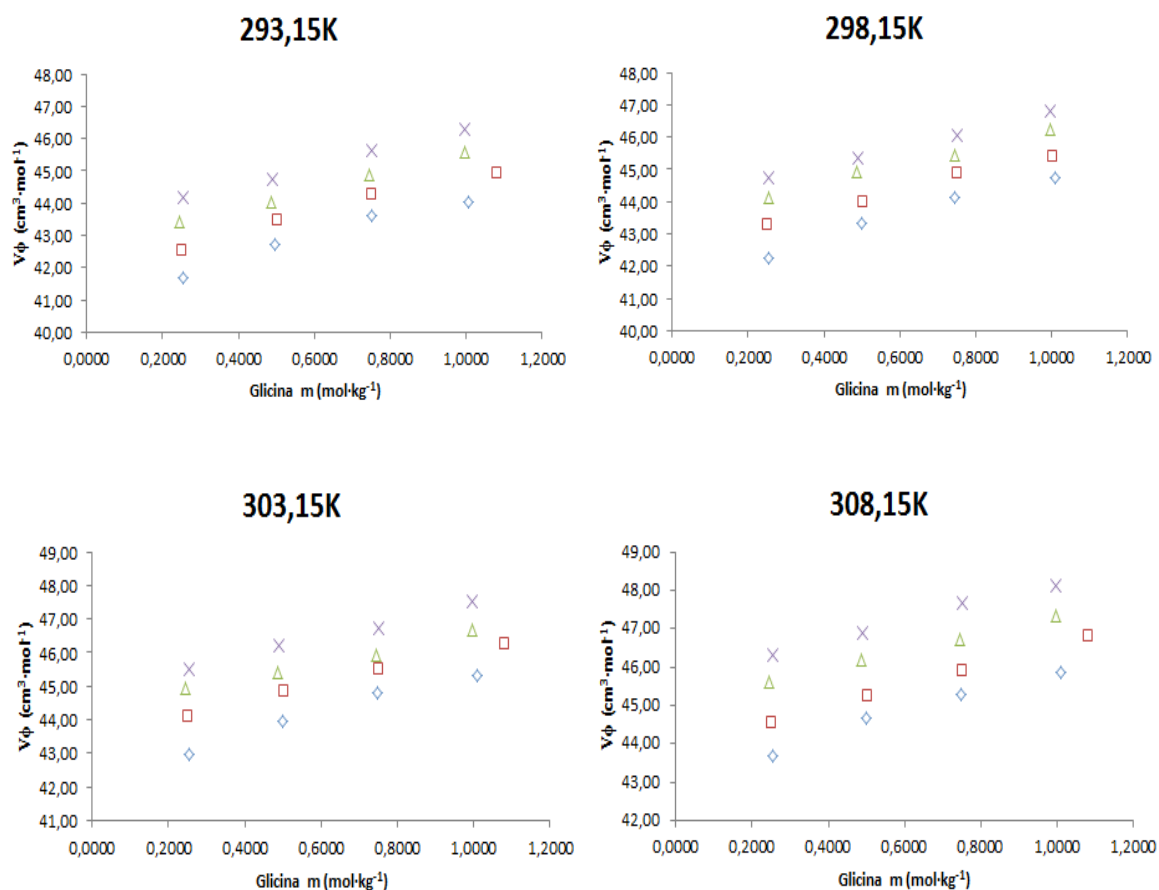
2.4.1. Volúmenes molares aparentes

En las Tablas A1-A10 del anexo A, se muestran los resultados experimentales de densidad y de volumen molar aparente en función de la molalidad de glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico, norvalina y norleucina a las cuatro diferentes mezclas de meso-eritritol-agua y xilitol-agua a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K y 313,15 K.

Los volúmenes molares aparentes estudiados para los α -aminoácidos en solución acuosa de meso-eritritol y xilitol a las temperaturas seleccionadas se presentan en las figuras 6-15, donde se evidencia la dependencia del volumen con respecto a la concentración dada en molalidad. Se observa un aumento del volumen con la concentración

A temperatura constante, se observa un aumento del volumen con la concentración y no se observan mínimos ni inflexiones en las curvas. Las pendientes de las curvas de volumen molar parcial en función de la concentración son positivas para estos aminoácidos en presencia de las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua, siguiendo un comportamiento similar al observado en agua [12-14].

Figura 6. Volumen molar aparente de glicina en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones meso eritritol 0,25054m (\diamond), meso eritritol 0,49990m (\square), meso eritritol 0,74795m (\triangle) y meso eritritol 0,99734m (\times), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.



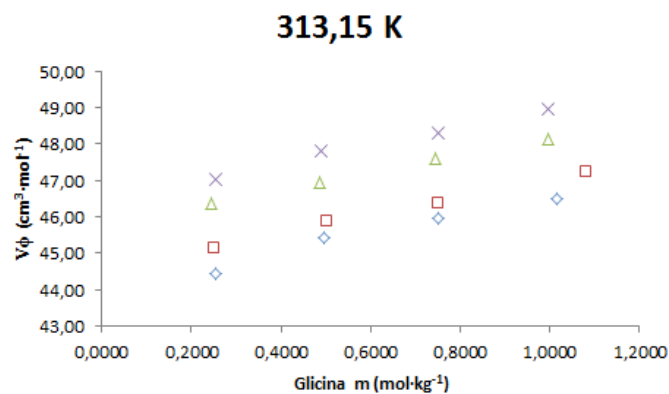
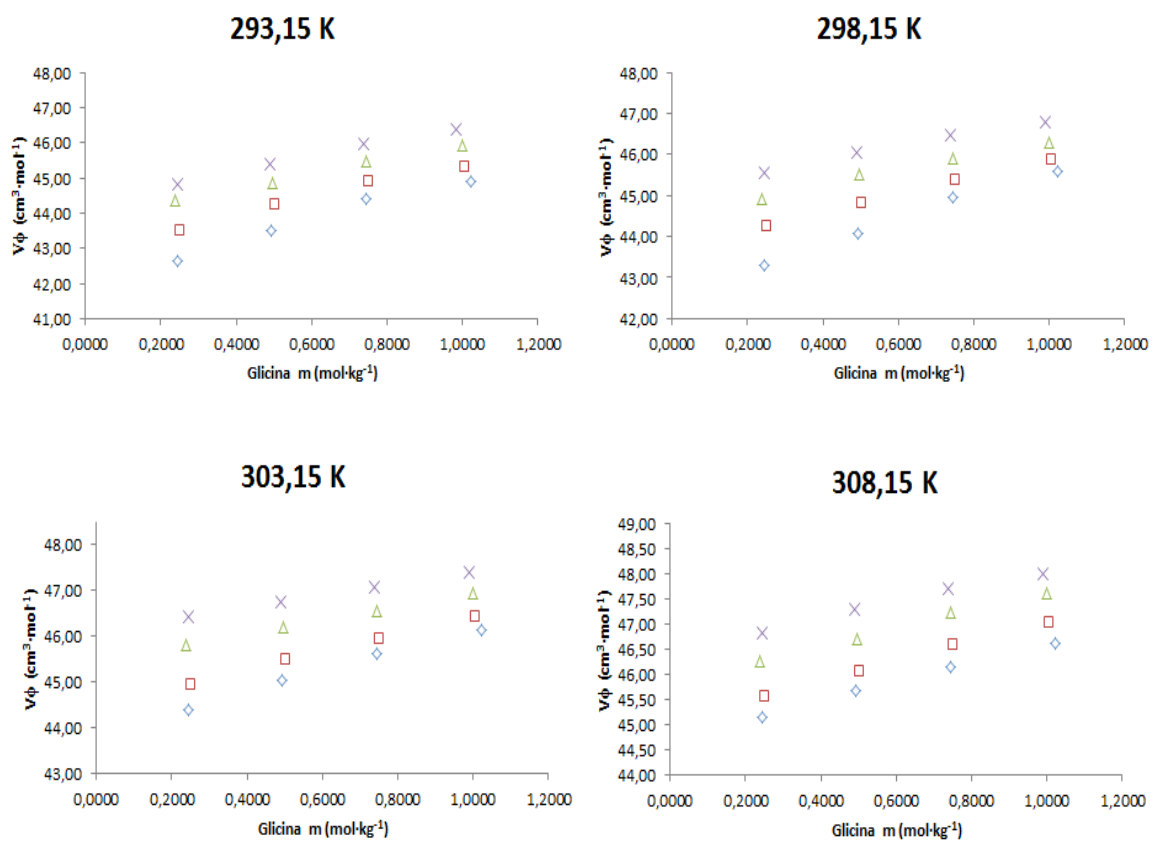


Figura 7. Volumen molar aparente de glicina en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25000m (\diamond), xilitol 0,49988m (\square), xilitol 0,75012m (\triangle) y xilitol 0,99989m (\times), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K



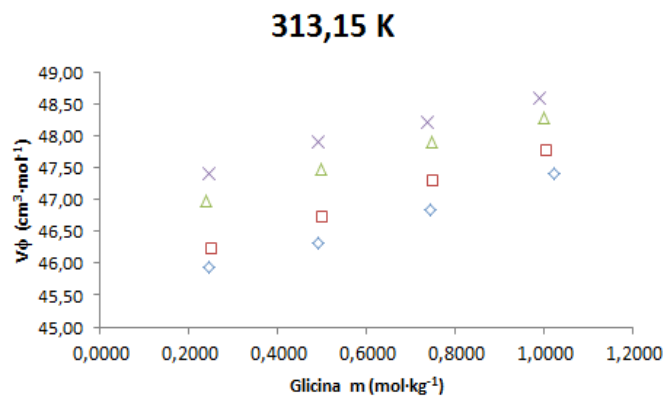
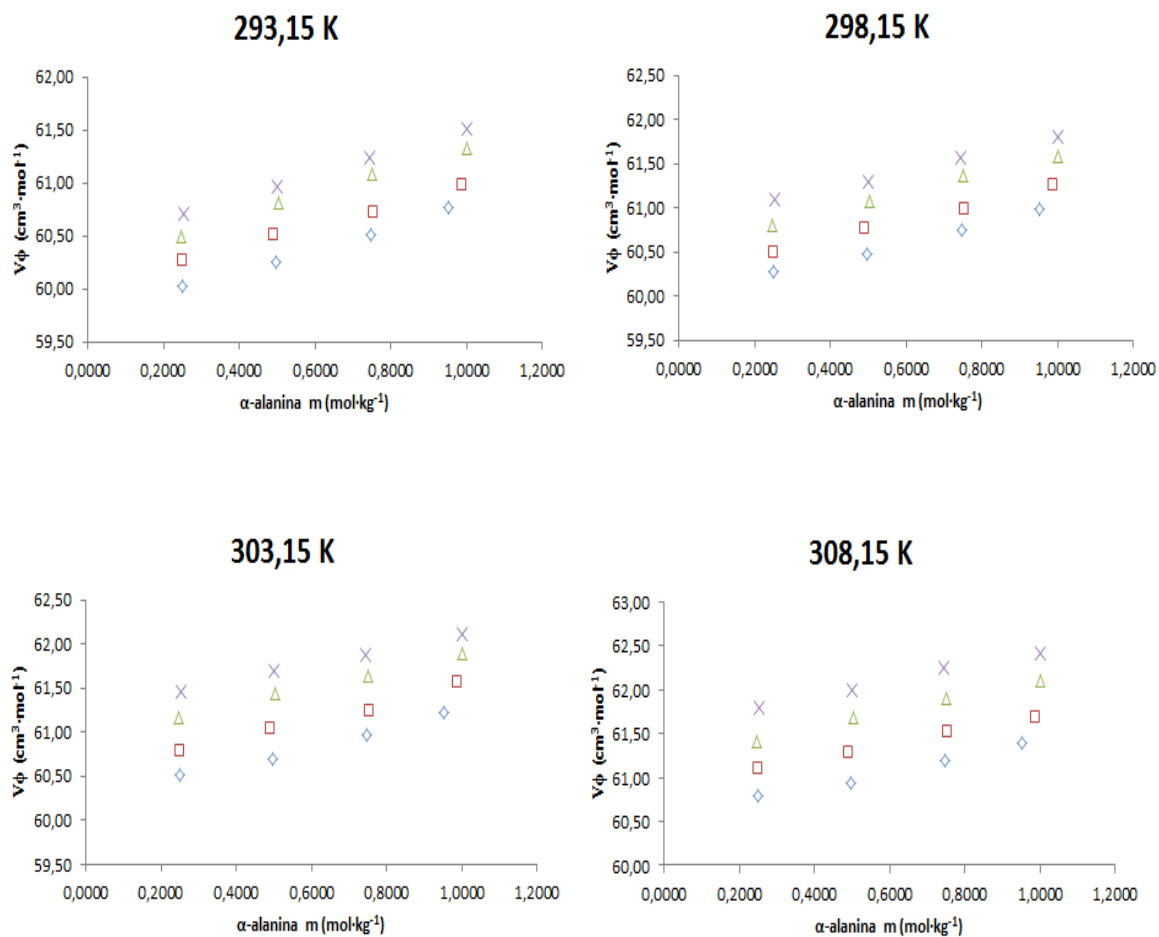


Figura 8. Volumen molar aparente de α -alanina en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones meso eritritol 0,25315m (\diamond), meso eritritol 0,50045m (\square), meso eritritol 0,75015m (\triangle) y meso eritritol 0,99746m (\times), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.



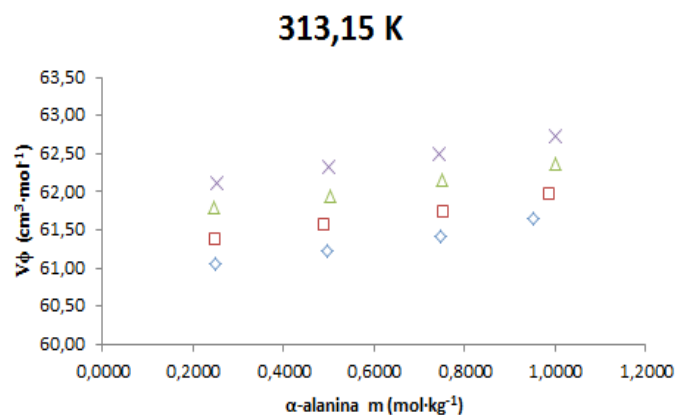
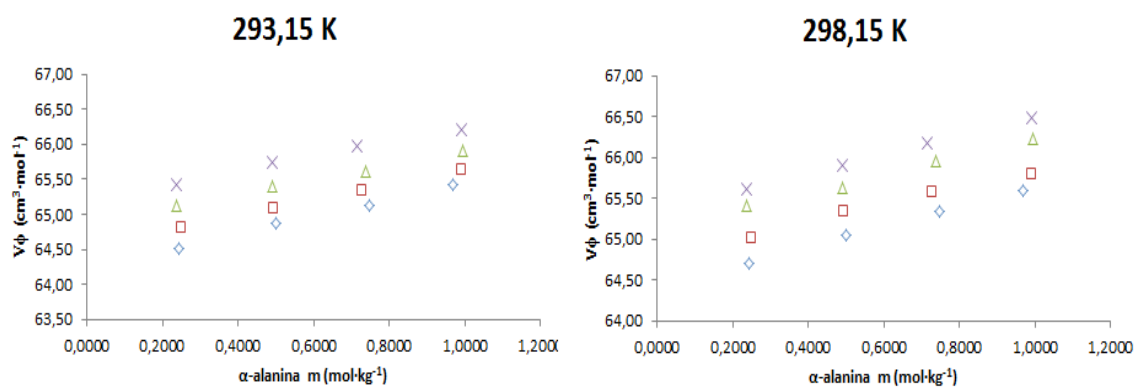


Figura 9. Volumen molar aparente de α -alanina en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25000m (\diamond), xilitol 0,49988m (\square), xilitol 0,75012m (\triangle) y xilitol 0,99989m (\times), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.



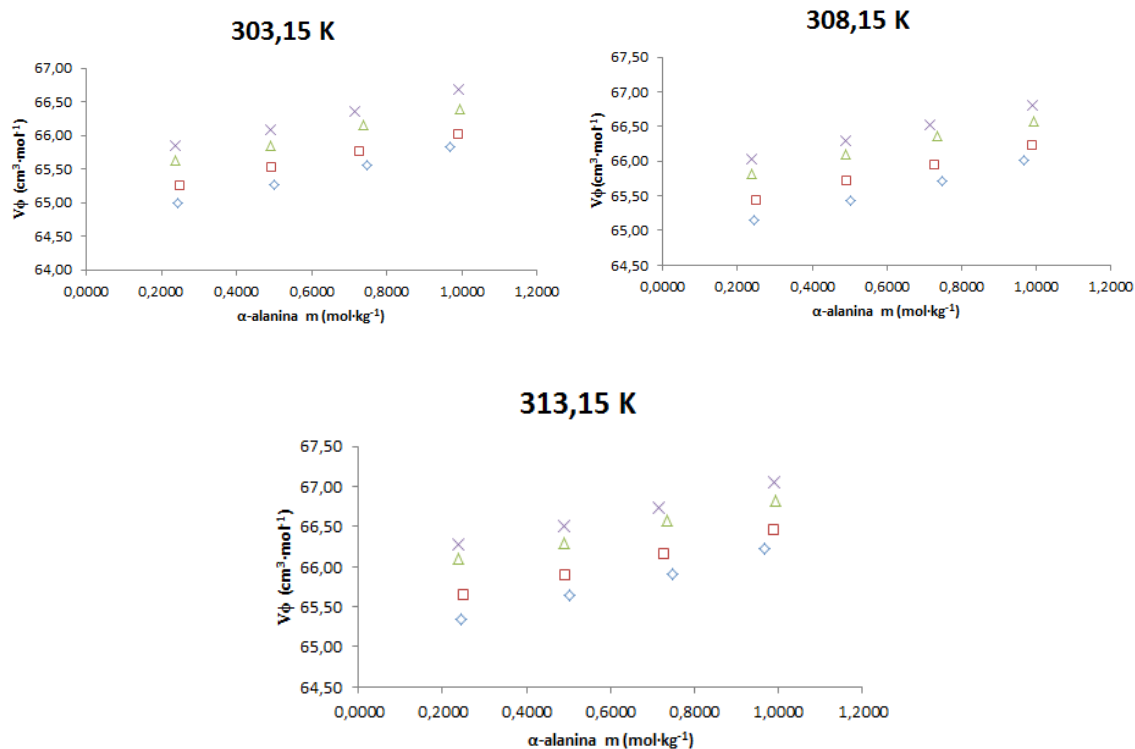
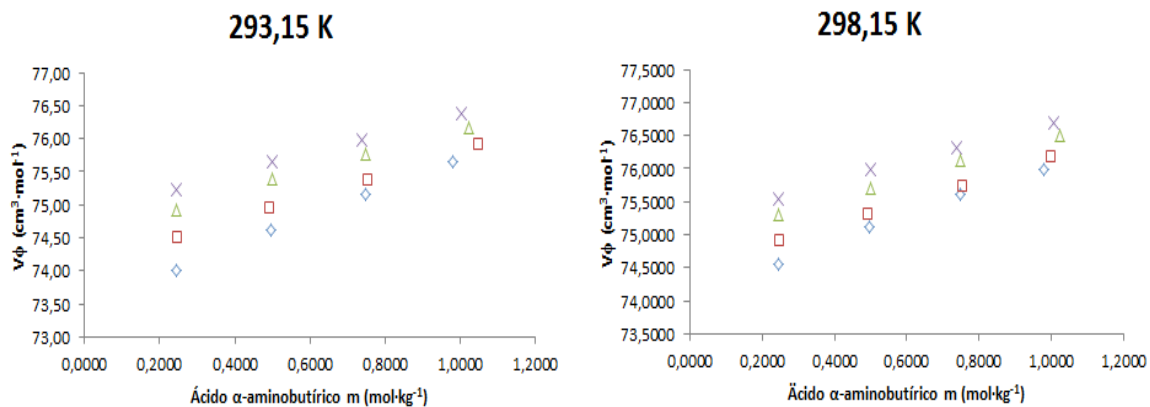


Figura 10. Volumen molar aparente de ácido α -aminobutírico en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones meso eritritol 0,24926m (\diamond), meso eritritol 0,50616m (\square), meso eritritol 0,74628m (\triangle) y meso eritritol 1,00081m (\times), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.



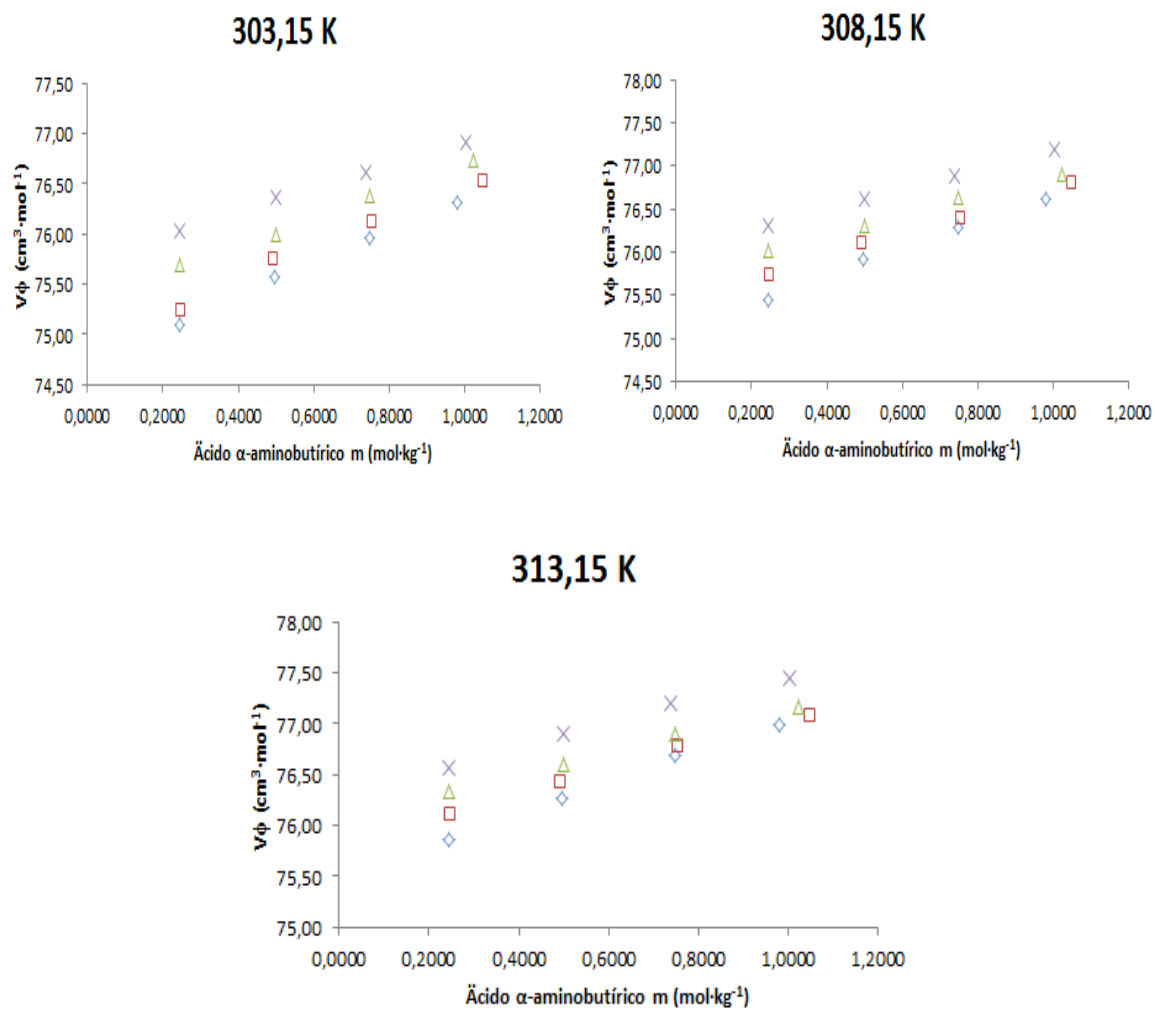


Figura 11. Volumen molar aparente de ácido α -aminobutírico en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25187m (\diamond), xilitol 0,49907m (\square), xilitol 0,74787m (\triangle) y xilitol 0,99524m (\times), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.

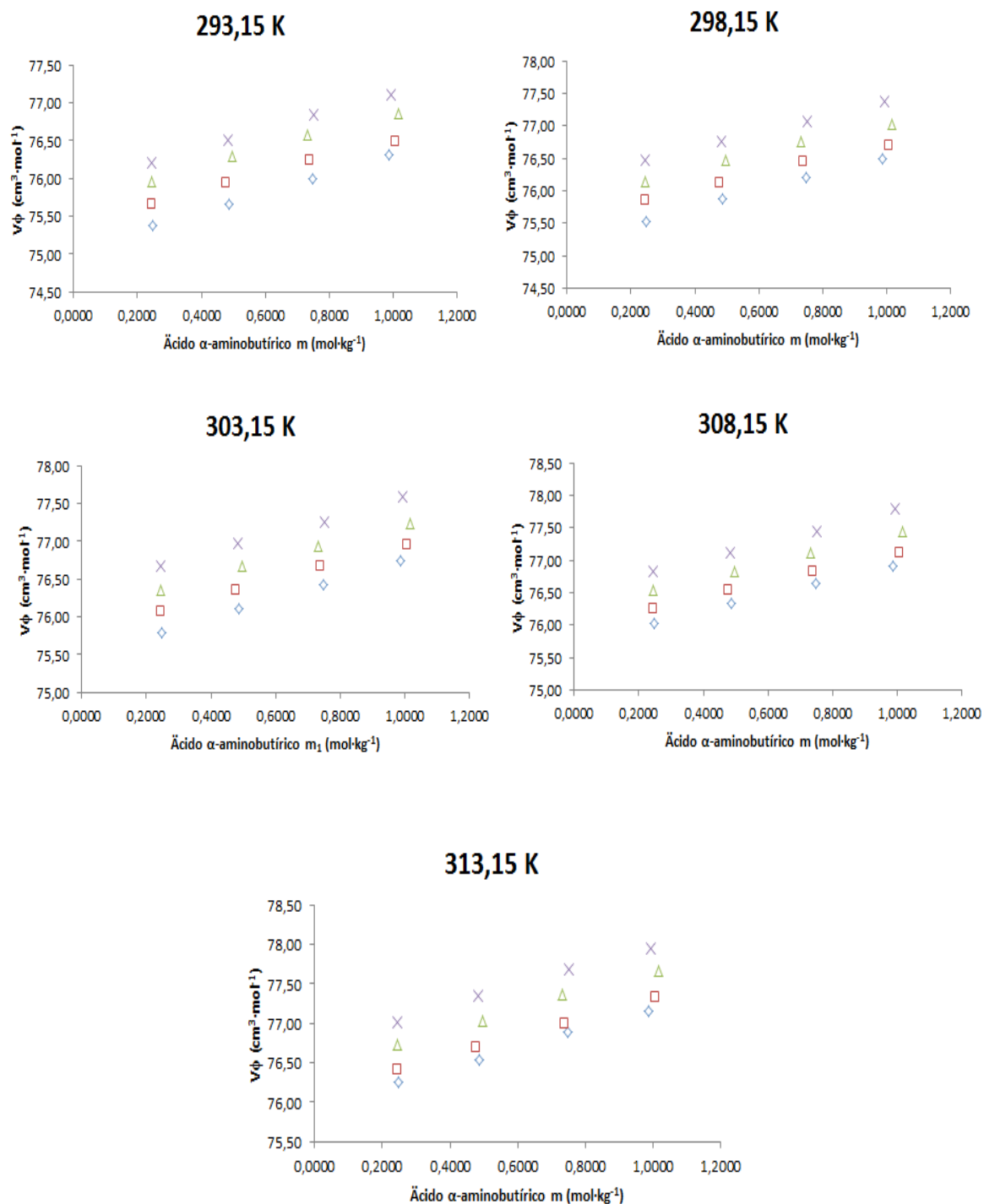


Figura 12. Volumen molar aparente de norvalina en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones meso eritritol 0,24981m (\diamond), meso eritritol 0,49899m (\square), meso eritritol 0,74819m (\triangle) y meso eritritol 0,99998m (\times), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.

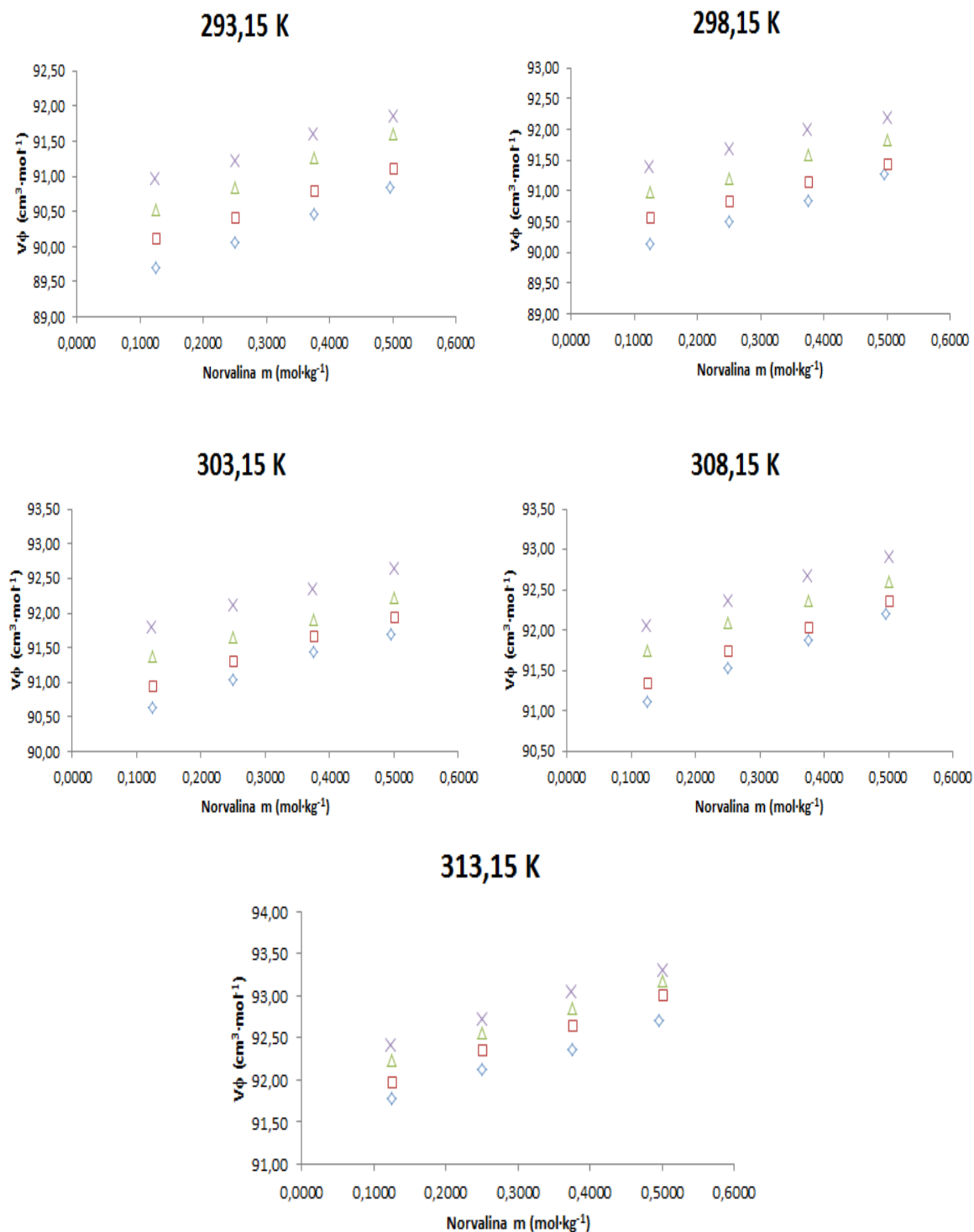


Figura 13. Volumen molar aparente de norvalina en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25079m (◇), xilitol 0,50193m (□), xilitol 0,75397m (△) y xilitol 0,99941m (×), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.

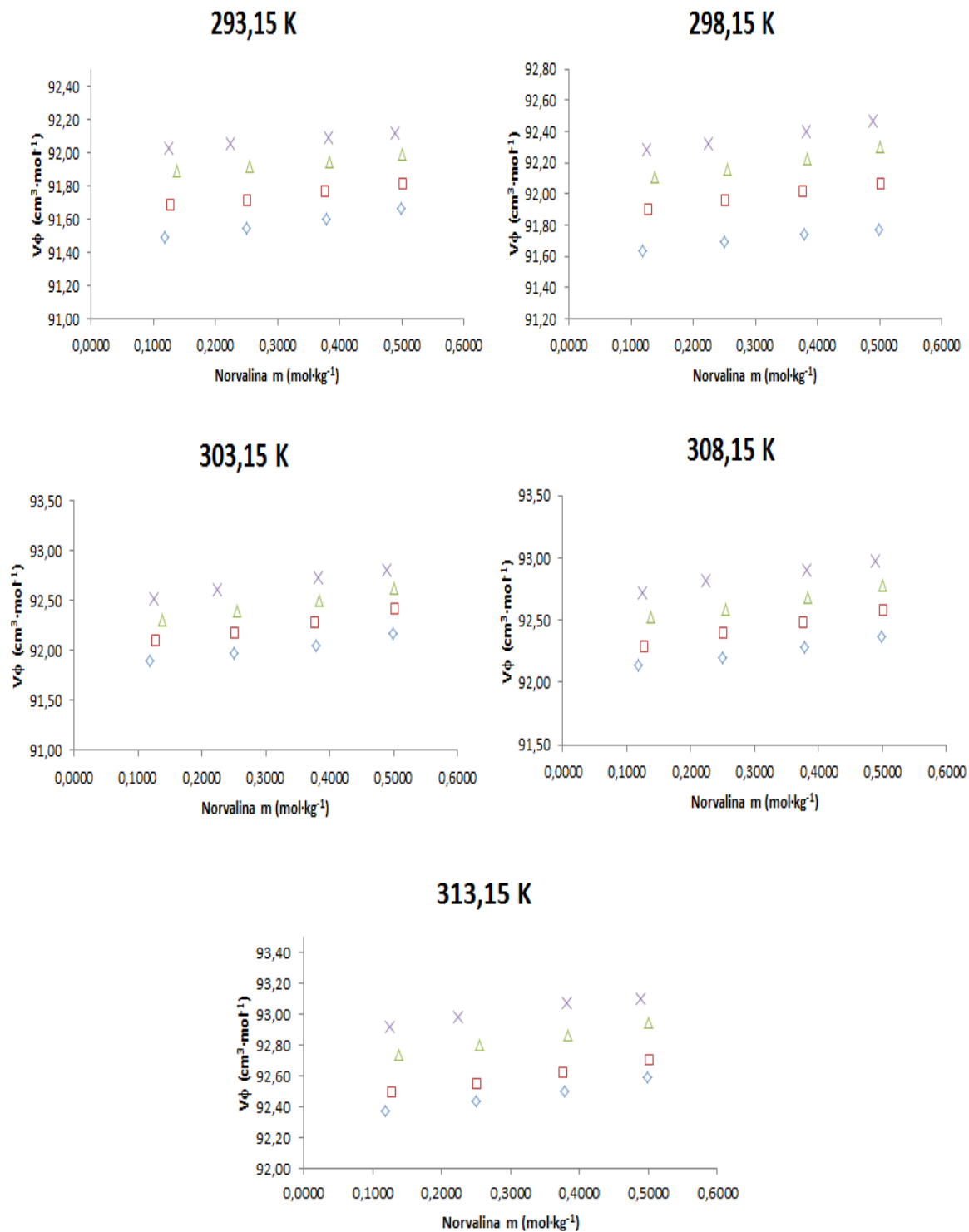


Figura 14. Volumen molar aparente de norleucina en solución acuosa de meso eritritol-agua a las siguientes concentraciones meso eritritol 0,25315m (\diamond), meso eritritol 0,49959m (\square), meso eritritol 0,75233m (\triangle) y meso eritritol 0,99875m (\times), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.

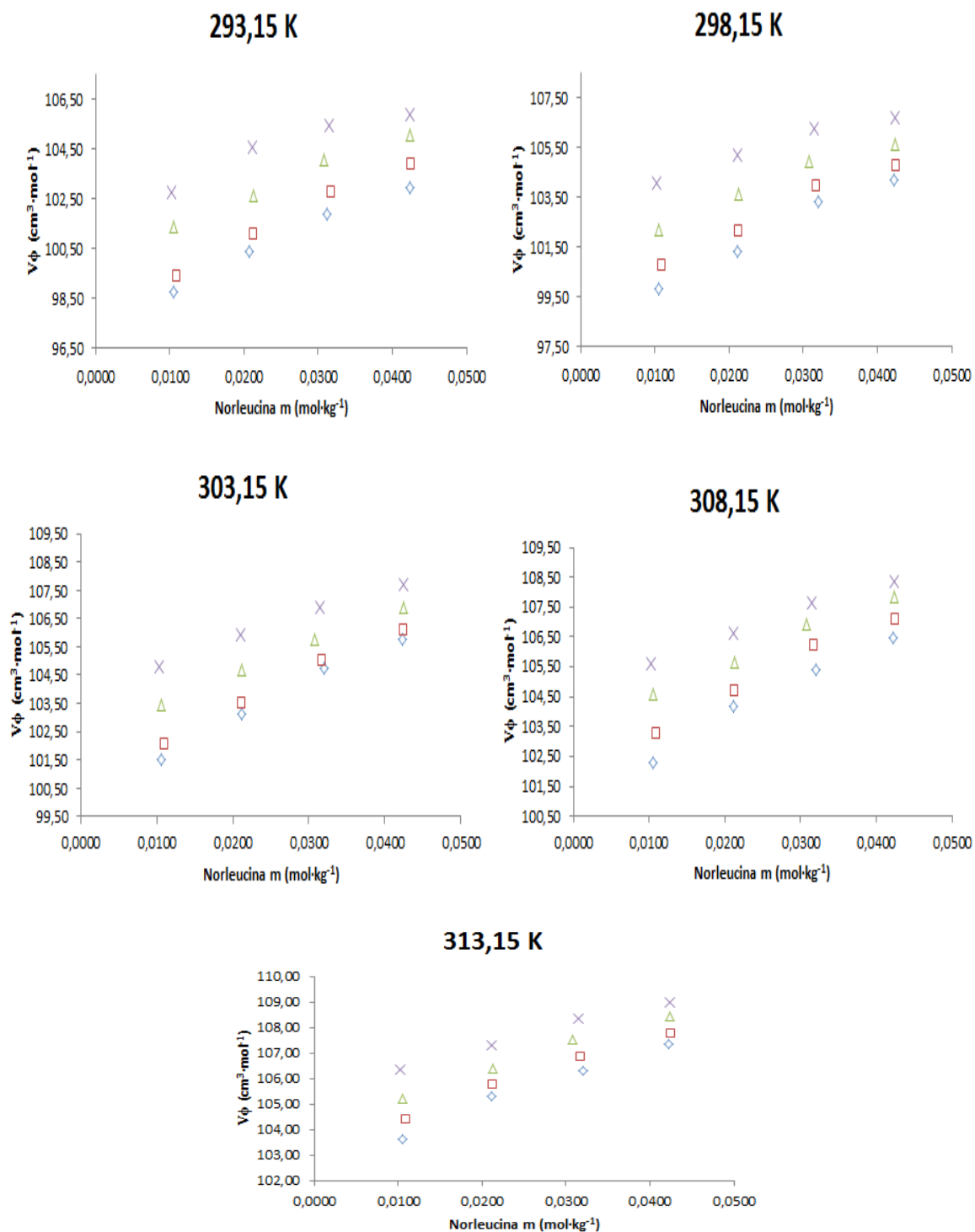
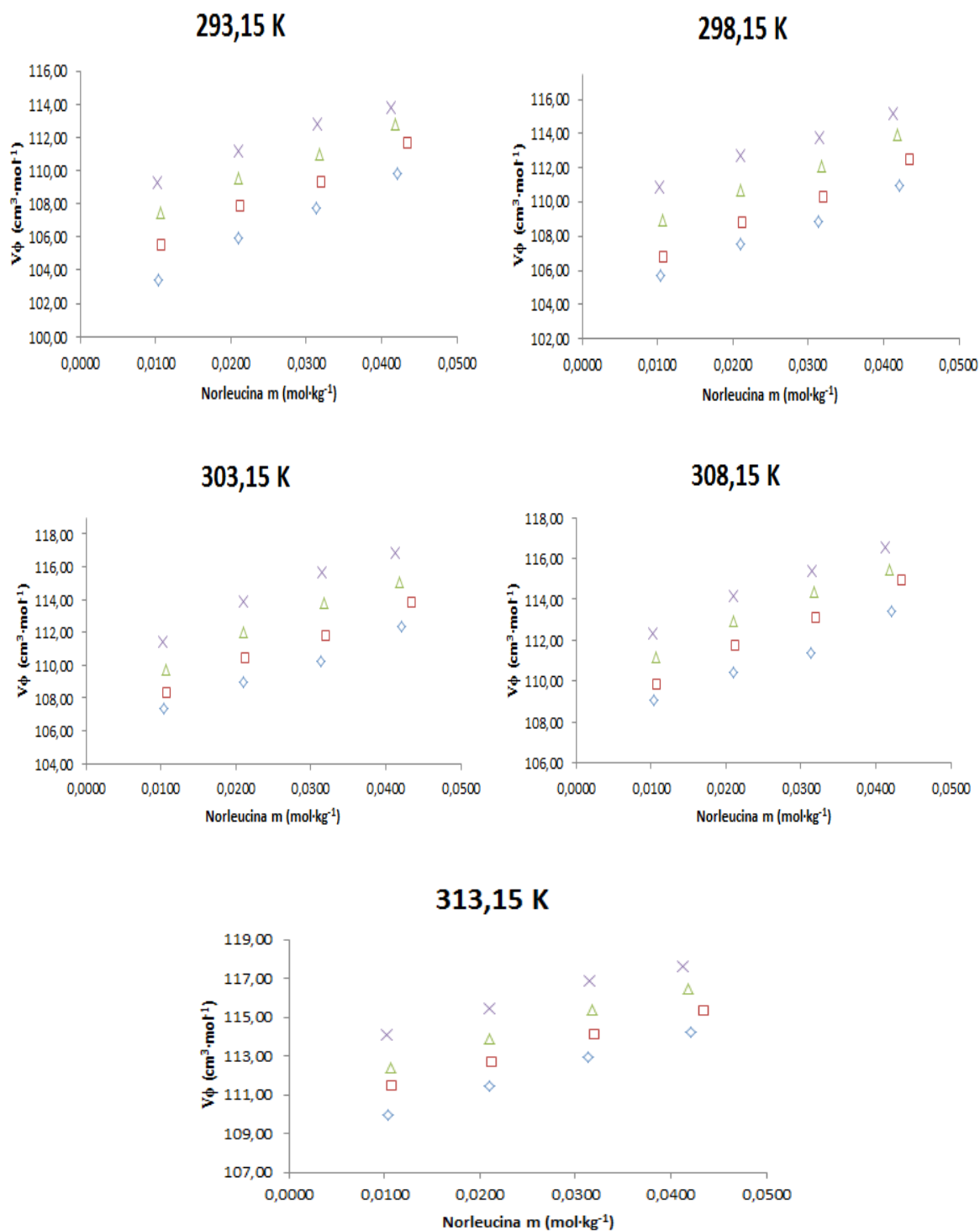


Figura 15. Volumen molar aparente de norleucina en solución acuosa de xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25002m (◇), xilitol 0,50379m (□), xilitol 0,74497m (△) y xilitol 0,99901m (×), a 293,15 K; 298,15 K; 303,15 K; 308,15 K; 313,15 K.



De acuerdo a las figuras 6-15, se puede observar un aumento en el volumen molar aparente a medida que aumenta la concentración del aminoácido y aumenta la concentración de poliol en las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua.

Los volúmenes molares aparentes, obtenidos para los α -aminoácidos en las mezclas de eritritol-agua y xilitol-agua, muestran un aumento al compararlos con los valores de los volúmenes de los aminoácidos en agua, esto se puede atribuir a la fuerte interacción hidrofílica del poliol con el agua.

A su vez se observa que el valor del volumen molar aparente es mayor cuando los aminoácidos interactúan con xilitol que cuando interactúan con meso eritritol, lo cual puede atribuirse a la presencia de un grupo OH adicional en el xilitol respecto al meso-eritritol. Lo anterior sugiere la preferencia por la interacción hidrofílica, y esto es ratificado con las gráficas de volumen molar aparente en función de la concentración para cada sistema estudiado lo cual muestra tendencias positivas, tal como lo ha mostrado, Zhenning y colaboradores [6], Negrete y colaboradores [13], entre otros.

El volumen molar aparente se hace ligeramente mayor al aumentar la temperatura, aunque el efecto es pequeño; esto indicaría que las interacciones soluto-soluto en presencia de agua se ven poco afectadas por la variación de temperatura en el rango considerado. Este comportamiento volumétrico es similar al observado en estudios previos para soluciones acuosas de α -aminoácidos [46].

2.4.2. Volumen molar parcial a dilución infinita

Las curvas de volumen molar aparente fueron ajustadas a una ecuación de segundo orden para obtener por extrapolación los volúmenes molares parciales a dilución infinita. En las Tabla 1-5 y en las figuras 16-20, se muestran los volúmenes molares parciales a dilución infinita para los α -aminoácidos estudiados, en presencia de meso-eritritol y xilitol respectivamente, así como la incertidumbre en los valores para cada dato obtenido. Se puede evidenciar que el volumen a dilución infinita aumenta a medida que aumenta la concentración de solvente, y a su vez hay un aumento en estos valores obtenidos de volumen molar parcial a dilución infinita, cuando la mezcla se realiza en presencia de xilitol, esto concuerda con estudios previos, en los que se ha evidenciado que los volúmenes molares parciales a dilución infinita de los polioles, presentan un

aumento a medida que se incrementa el número de carbonos de la cadena alifática del aminoácido y el número de grupos hidroxilo del cosolvente [28,32].

Se evidencia también un ligero aumento en el volumen molar parcial a dilución infinita en función de la temperatura, esto indicaría que las interacciones soluto-soluto en presencia de las mezclas poliol-agua se ven poco afectadas por la variación de temperatura en el rango considerado

A la misma temperatura los volúmenes molares parciales a dilución infinita de los α -aminoácidos en presencia de las mezclas poliol-agua, presentan gran diferencia al compararlos con valores de literatura [28] obtenidos para polioles-agua. Esto sugiere que las interacciones dadas en estos sistemas ternarios, se ven más afectadas por el comportamiento del aminoácido que por el mismo poliol.

Tabla 1. Volumen molar parcial a dilución infinita de glicina en las mezcla meso eritritol-agua y xilitol-agua.

glicina- meso eritritol			glicina-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	39,97	0,26	0,25000	41,14	0,50
0,50045	41,25	0,22	0,49988	42,47	0,26
0,75015	42,55	0,33	0,75012	43,67	0,29
0,99746	43,30	0,32	0,99989	44,24	0,20
T=298,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	40,89	0,06	0,25000	42,12	0,35
0,50045	41,90	0,59	0,49988	43,62	0,10
0,75015	43,41	0,56	0,75012	44,41	0,16
0,99746	44,13	0,01	0,99989	44,91	0,05
T=303,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$

(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	41,55	0,17	0,25000	43,45	0,01
0,50045	43,03	0,01	0,49988	44,50	0,08
0,75015	44,31	0,21	0,75012	45,28	0,06
0,99746	45,12	0,45	0,99989	45,87	0,03
T=308,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	42,71	0,32	0,25000	44,38	0,02
0,50045	43,89	0,04	0,49988	45,09	0,20
0,75015	45,13	0,23	0,75012	45,85	0,18
0,99746	45,70	0,33	0,99989	46,49	0,12
T=313,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	43,52	0,39	0,25000	45,36	0,10
0,50045	44,72	0,32	0,49988	45,91	0,12
0,75015	45,84	0,10	0,75012	46,48	0,01
0,99746	46,50	0,45	0,99989	47,09	0,29

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol/kg.

Tabla 2. Volumen molar parcial a dilución infinita de α -alanina en las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua

α -alanina- meso eritritol			α -alanina-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	59,85	0,02	0,25000	64,25	0,15
0,50045	60,14	0,09	0,49988	64,60	0,03
0,75015	60,46	0,03	0,75012	64,97	0,10
0,99746	60,73	0,05	0,99989	65,29	0,01

T=298,15 K					
m (mol·kg ⁻¹)	\bar{V}_2° (cm ³ ·mol ⁻¹)	$\sigma\bar{V}_2^\circ$ (cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	\bar{V}_2° (cm ³ ·mol ⁻¹)	$\sigma\bar{V}_2^\circ$ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	60,09	0,03	0,25000	64,37	0,01
0,50045	60,38	0,19	0,49988	64,68	0,02
0,75015	60,68	0,08	0,75012	65,09	0,17
0,99746	60,93	0,11	0,99989	65,41	0,04
T=303,15 K					
m (mol·kg ⁻¹)	\bar{V}_2° (cm ³ ·mol ⁻¹)	$\sigma\bar{V}_2^\circ$ (cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	\bar{V}_2° (cm ³ ·mol ⁻¹)	$\sigma\bar{V}_2^\circ$ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	60,36	0,03	0,25000	64,73	0,04
0,50045	60,73	0,21	0,49988	64,96	0,02
0,75015	60,99	0,12	0,75012	65,31	0,17
0,99746	61,28	0,12	0,99989	65,62	0,08
T=308,15 K					
m (mol·kg ⁻¹)	\bar{V}_2° (cm ³ ·mol ⁻¹)	$\sigma\bar{V}_2^\circ$ (cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	\bar{V}_2° (cm ³ ·mol ⁻¹)	$\sigma\bar{V}_2^\circ$ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	60,60	0,13	0,25000	64,98	0,07
0,50045	60,97	0,03	0,49988	65,21	0,06
0,75015	61,26	0,03	0,75012	65,47	0,04
0,99746	61,55	0,12	0,99989	65,79	0,03
T=313,15 K					
m (mol·kg ⁻¹)	\bar{V}_2° (cm ³ ·mol ⁻¹)	$\sigma\bar{V}_2^\circ$ (cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	\bar{V}_2° (cm ³ ·mol ⁻¹)	$\sigma\bar{V}_2^\circ$ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,25315	60,98	0,05	0,25000	65,17	0,12
0,50045	61,34	0,13	0,49988	65,41	0,07
0,75015	61,64	0,06	0,75012	65,73	0,13
0,99746	61,84	0,04	0,99989	66,02	0,02

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol/kg.

Tabla 3. Volumen molar parcial a dilución infinita de ácido α -aminobutírico en las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua

ácido α-aminobutírico- meso eritritol			ácido α-aminobutírico-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24926	73,44	0,03	0,25187	75,08	0,06
0,50616	74,02	0,07	0,49907	75,31	0,05
0,74628	74,43	0,05	0,74787	75,56	0,03
1,00081	74,75	0,11	0,99524	75,85	0,02
T=298,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24926	73,88	0,05	0,25187	75,26	0,03
0,50616	74,39	0,01	0,49907	75,51	0,05
0,74628	74,77	0,12	0,74787	75,78	0,01
1,00081	75,14	0,09	0,99524	76,11	0,00
T=303,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24926	74,46	0,08	0,25187	75,47	0,03
0,50616	74,83	0,17	0,49907	75,75	0,03
0,74628	75,29	0,16	0,74787	76,02	0,05
1,00081	75,54	0,09	0,99524	76,28	0,10
T=308,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24926	75,03	0,08	0,25187	75,65	0,00
0,50616	75,29	0,12	0,49907	75,98	0,04
0,74628	75,63	0,12	0,74787	76,19	0,07
1,00081	75,90	0,01	0,99524	76,44	0,06

T=313,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24926	75,37	0,10	0,25187	75,87	0,10
0,50616	75,69	0,09	0,49907	76,18	0,05
0,74628	75,99	0,09	0,74787	76,41	0,16
1,00081	76,28	0,05	0,99524	76,63	0,01

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol/kg.

Tabla 4. Volumen molar parcial a dilución infinita de norvalina en las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua.

norvalina-meso eritritol			norvalina-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24981	89,28	0,08	0,25079	91,46	0,00
0,49899	89,73	0,12	0,50193	91,64	0,04
0,74819	90,10	0,12	0,75397	91,80	0,03
0,99998	90,51	0,22	0,99941	91,99	0,00
T=298,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24981	89,75	0,16	0,25079	91,58	0,00
0,49899	90,18	0,04	0,50193	91,83	0,01
0,74819	90,57	0,24	0,75397	92,02	0,00
0,99998	90,94	0,11	0,99941	92,16	0,00
T=303,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24981	90,09	0,14	0,25079	91,90	0,05

0,49899	90,55	0,09	0,50193	92,05	0,02
0,74819	91,02	0,06	0,75397	92,22	0,01
0,99998	91,31	0,13	0,99941	92,40	0,03
T=308,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24981	90,73	0,06	0,25079	92,09	0,03
0,49899	91,10	0,13	0,50193	92,25	0,03
0,74819	91,41	0,06	0,75397	92,44	0,06
0,99998	91,69	0,05	0,99941	92,56	0,06
T=313,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24981	91,40	0,21	0,25079	92,37	0,04
0,49899	91,70	0,18	0,50193	92,49	0,01
0,74819	91,99	0,08	0,75397	92,69	0,02
0,99998	92,20	0,13	0,99941	92,81	0,02

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol/kg.

Tabla 5. Volumen molar parcial a dilución infinita de norleucina en las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua.

norleucina-meso eritritol			norleucina-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24964	95,81	0,12	0,25002	101,46	0,79
0,49959	96,88	0,58	0,50379	104,27	1,65
0,75233	98,85	0,89	0,74497	106,18	1,28
0,99875	100,80	0,31	0,99901	107,10	0,39

T=298,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24964	96,92	0,61	0,25002	103,70	0,32
0,49959	98,20	0,75	0,50379	105,62	0,98
0,75233	100,22	0,85	0,74497	107,39	0,88
0,99875	102,14	0,59	0,99901	108,50	1,19
T=303,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24964	98,85	0,43	0,25002	105,41	0,93
0,49959	99,92	0,47	0,50379	107,11	1,25
0,75233	101,66	0,13	0,74497	108,60	0,09
0,99875	103,41	0,14	0,99901	109,50	0,21
T=308,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24964	100,51	0,60	0,25002	107,02	1,38
0,49959	101,26	0,70	0,50379	108,59	0,73
0,75233	102,77	0,86	0,74497	109,69	0,25
0,99875	104,59	0,27	0,99901	110,65	0,47
T=313,15 K					
m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$	m	\bar{V}_2°	$\sigma\bar{V}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,24964	102,09	0,80	0,25002	108,25	0,19
0,49959	102,89	0,07	0,50379	109,94	0,40
0,75233	103,84	0,56	0,74497	110,94	0,39
0,99875	105,30	0,57	0,99901	112,05	0,58

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol/kg.

Figura 16. Volumen molar parcial a dilución infinita de glicina en función de la temperatura en solución acuosa de a) meso eritritol 0,25054m (\diamond), meso eritritol 0,49990m (\square), meso eritritol 0,74795m (\triangle) y meso eritritol 0,99734m (\times) b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25000m (\diamond), xilitol 0,49988m (\square), xilitol 0,75012m (\triangle) y xilitol 0,99989m (\times)

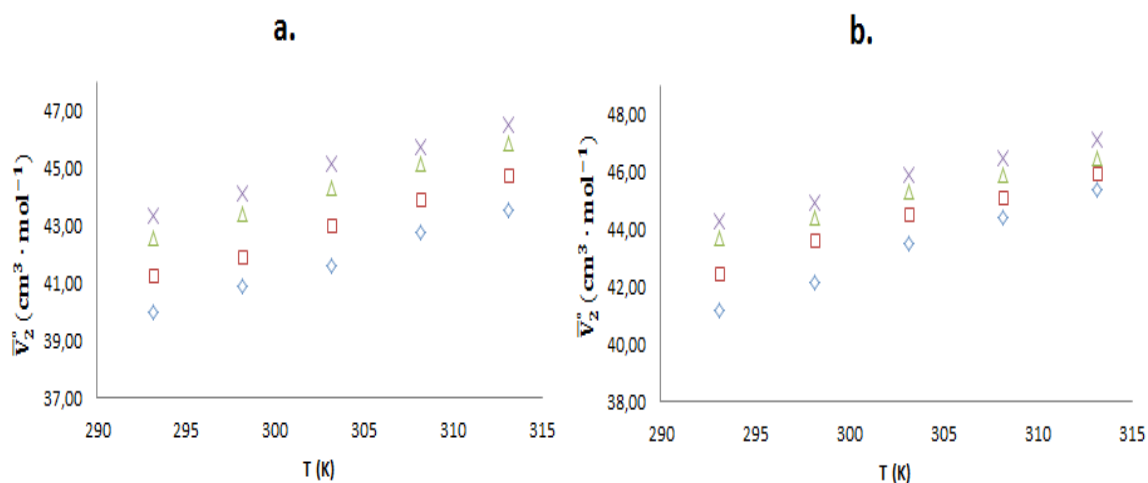


Figura 17. Volumen molar parcial a dilución infinita de α -alanina en función de la temperatura en solución acuosa de a) meso eritritol 0,25315m (\diamond), meso eritritol 0,50045m (\square), meso eritritol 0,75015m (\triangle) y meso eritritol 0,99746m (\times) b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25000m (\diamond), xilitol 0,49988m (\square), xilitol 0,75012m (\triangle) y xilitol 0,99989m (\times).

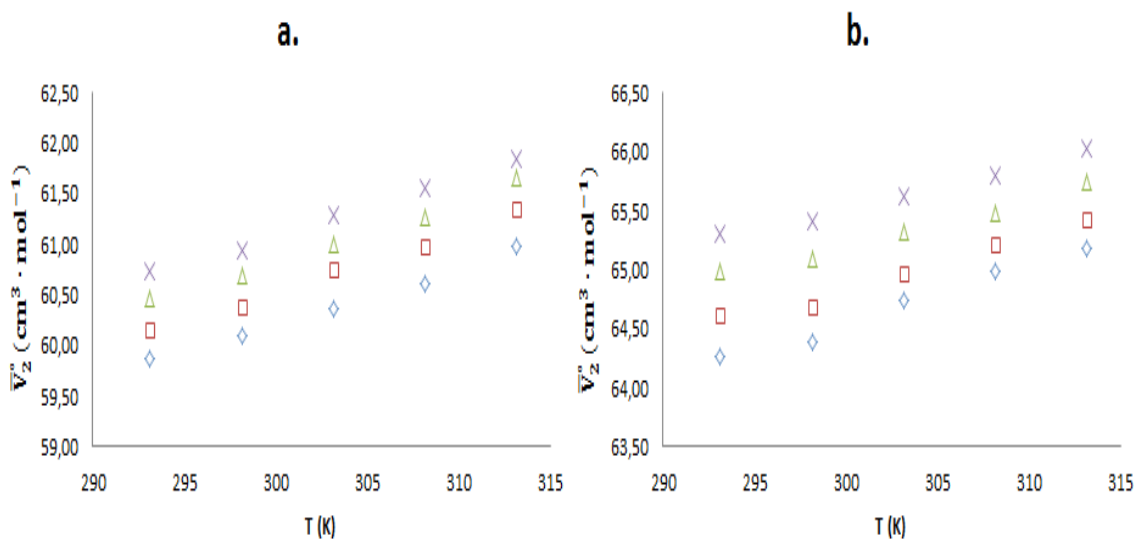


Figura 18. Volumen molar parcial a dilución infinita de ácido α -aminobutírico en función de la temperatura en solución acuosa de a) meso eritritol 0,24926m (\diamond), meso eritritol 0,50616m (\square), meso eritritol 0,74628m (\triangle) y meso eritritol 1,00081m (\times) b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25187m (\diamond), xilitol 0,49907m (\square), xilitol 0,74787m (\triangle) y xilitol 0,99524m (\times).

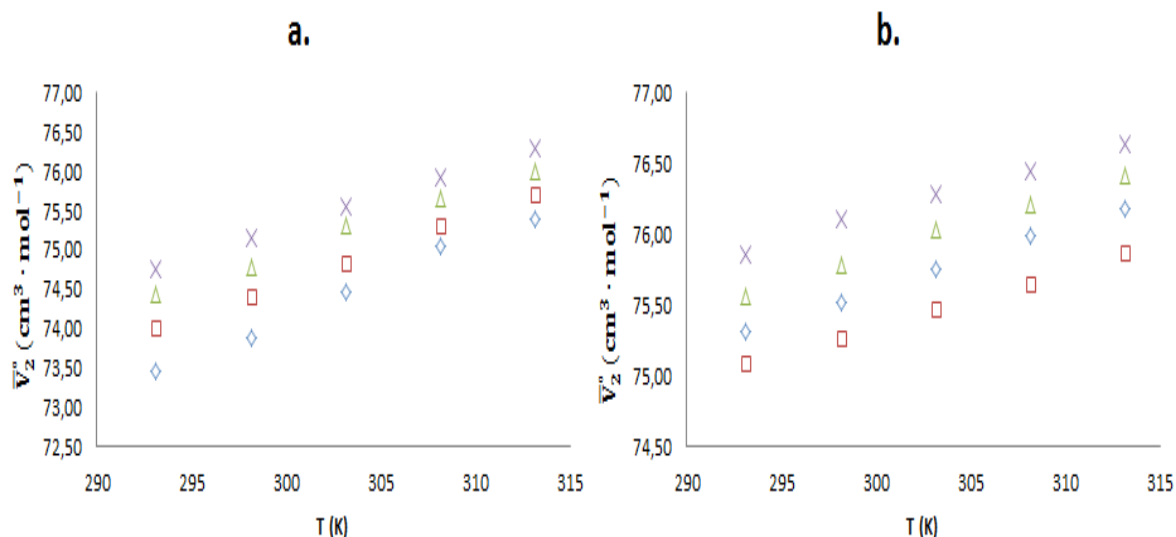


Figura 19. Volumen molar parcial a dilución infinita de norvalina en función de la temperatura en solución acuosa de a) meso eritritol 0,24981m (\diamond), meso eritritol 0,49899m (\square), meso eritritol 0,74819m (\triangle) y meso eritritol 0,99998m (\times) b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25079m (\diamond), xilitol 0,50193m (\square), xilitol 0,75397m (\triangle) y xilitol 0,99941m (\times).

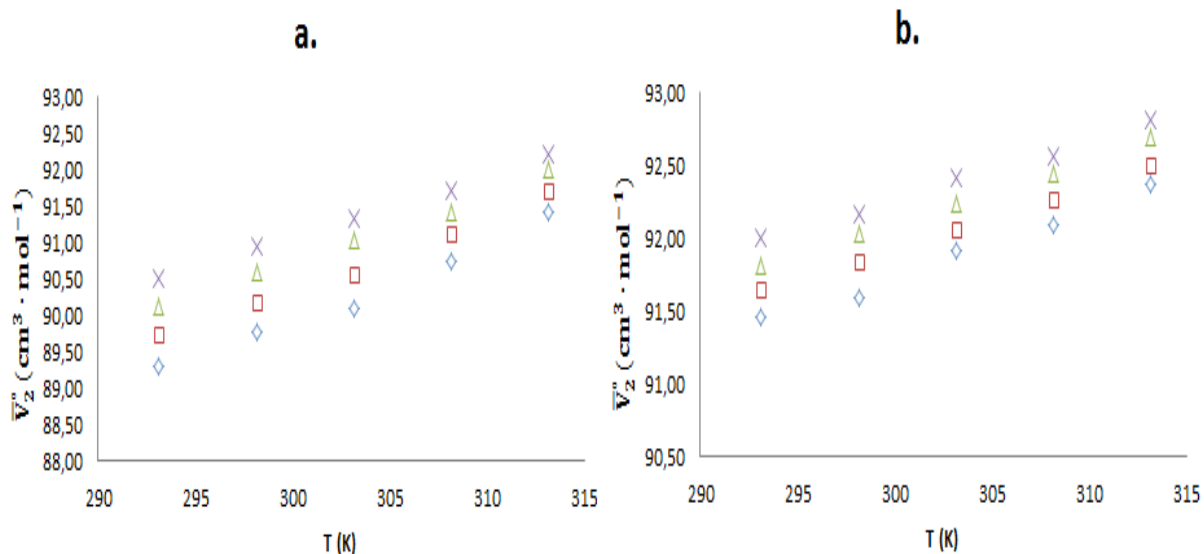
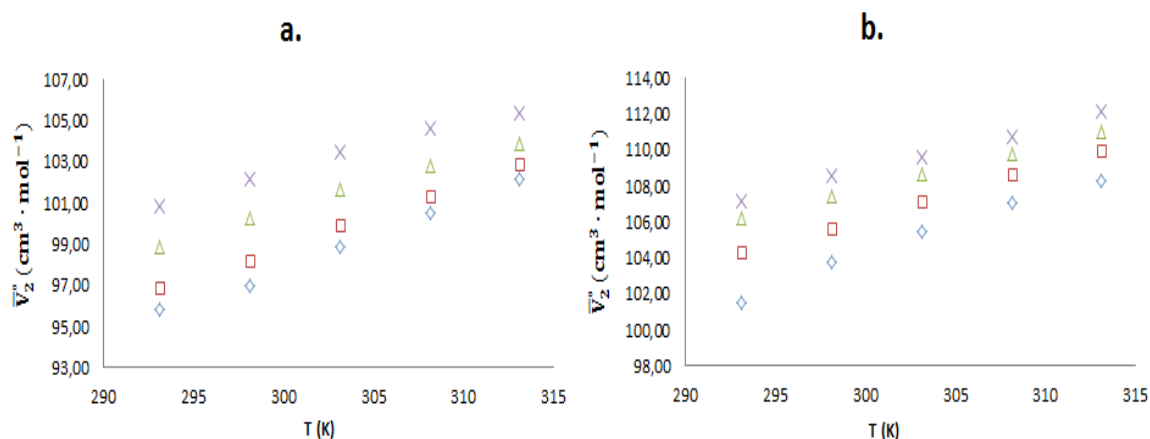


Figura 20. Volumen molar parcial a dilución infinita de norleucina en función de la temperatura en solución acuosa de a) meso eritritol 0,24964m (\diamond), meso eritritol 0,49959m (\square), meso eritritol 0,75233m (\triangle) y meso eritritol 0,99875m (\times) b) xilitol-agua a las siguientes concentraciones xilitol 0,25002m (\diamond), xilitol 0,50379m (\square), xilitol 0,74497m (\triangle) y xilitol 0,99901m (\times).



2.4.3. Contribución de grupo

Dentro de los objetivos planteados se buscaba analizar el efecto de la longitud de cadena sobre el volumen molar parcial, para esto se hizo una correlación con los volúmenes molares parciales a dilución infinita en función del número de átomos de carbono. Se encontró que a cada temperatura el volumen molar parcial a dilución infinita se comporta de manera lineal con respecto al número de átomos de carbono de la cadena hidrocarbonada de cada α -aminoácido, como se evidencia en las figuras 21 y 22. Con esto es posible inferir que los volúmenes molares parciales a dilución infinita pueden ser descritos en términos de contribuciones de grupo. De acuerdo a lo propuesto por Hakin [47], el número de átomos de carbono es aproximadamente equivalente al número de grupos metileno; de acuerdo con esto, el volumen molar parcial a dilución infinita puede ser representado por la siguiente ecuación:

$$\bar{V}_2^0 = \bar{V}_2^0(NH_3^+, COO^-) + n\bar{V}_2^0(CH_2) \quad (6)$$

Donde n representa el número de grupos metileno, $\bar{V}_2^0(CH_2)$ y $\bar{V}_2^0(NH_3^+, COO^-)$, son las contribuciones volumétricas de los grupos metileno y de los grupos (amino + carboxilo).

El comportamiento del volumen molar parcial en función del número de grupos metileno se observa en las Figura 21 y 22. Los valores para las contribuciones de grupo para los α -aminoácidos se presentan en la tabla 6 y para efectos de comparación se incluyen los valores reportados en literatura para los α -aminoácidos en agua, para analizar cómo cambia estos valores de contribución cuando se encuentran presentes polioles como en este caso meso eritritol y xilitol.

Figura 21. Efecto de la longitud de cadena sobre el volumen molar parcial a dilución infinita de α -aminoácidos a las diferentes concentraciones de la mezcla meso eritritol-agua en el intervalo de temperatura 293,15 K (\blacklozenge), 298,15 K (\blacksquare), 303,15 K (\blacktriangle), 308,15 K (\times) y 313,15 K (\ast)

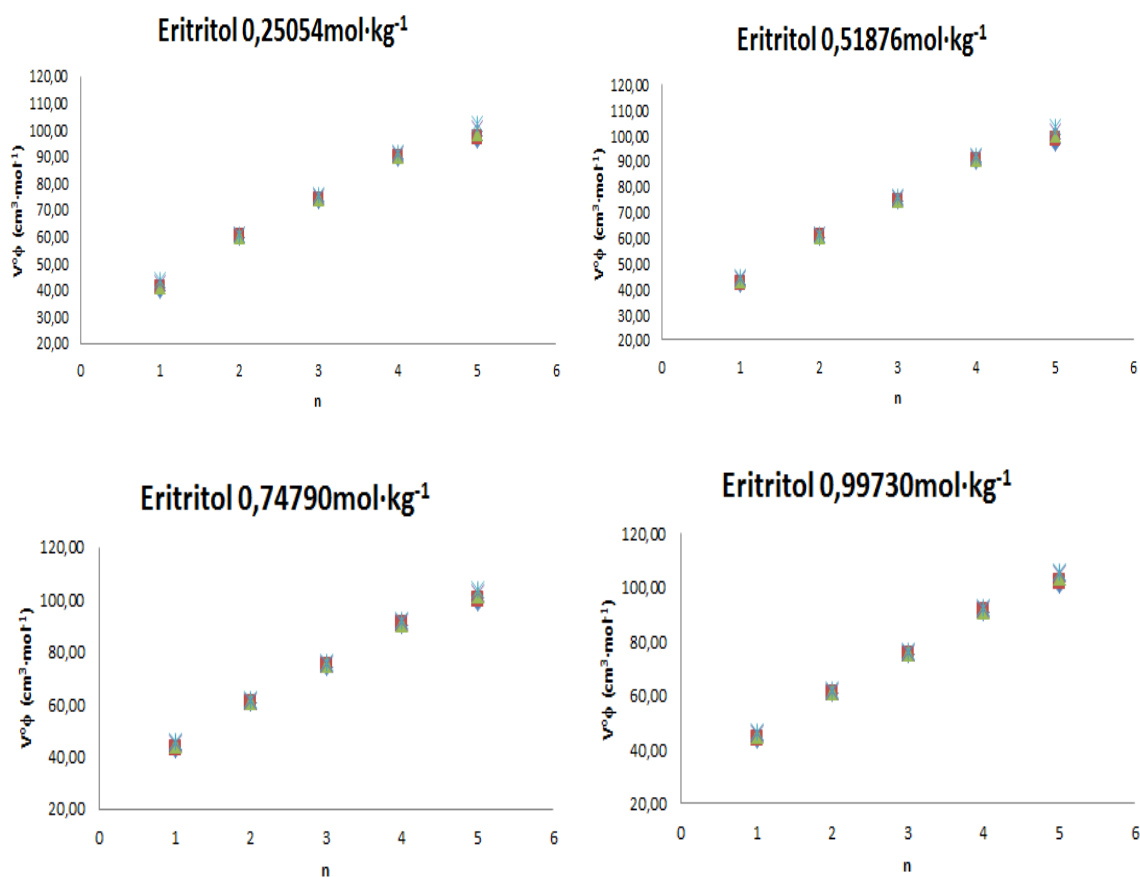


Figura 22. Efecto de la longitud de cadena sobre el volumen molar parcial a dilución infinita de α -aminoácidos a las diferentes concentraciones de la mezcla xilitol-agua en el intervalo de temperatura 293,15 K (\blacklozenge), 298,15 K (\blacksquare), 303,15 K (\blacktriangle), 308,15 K (\times) y 313,15 K (\ast).

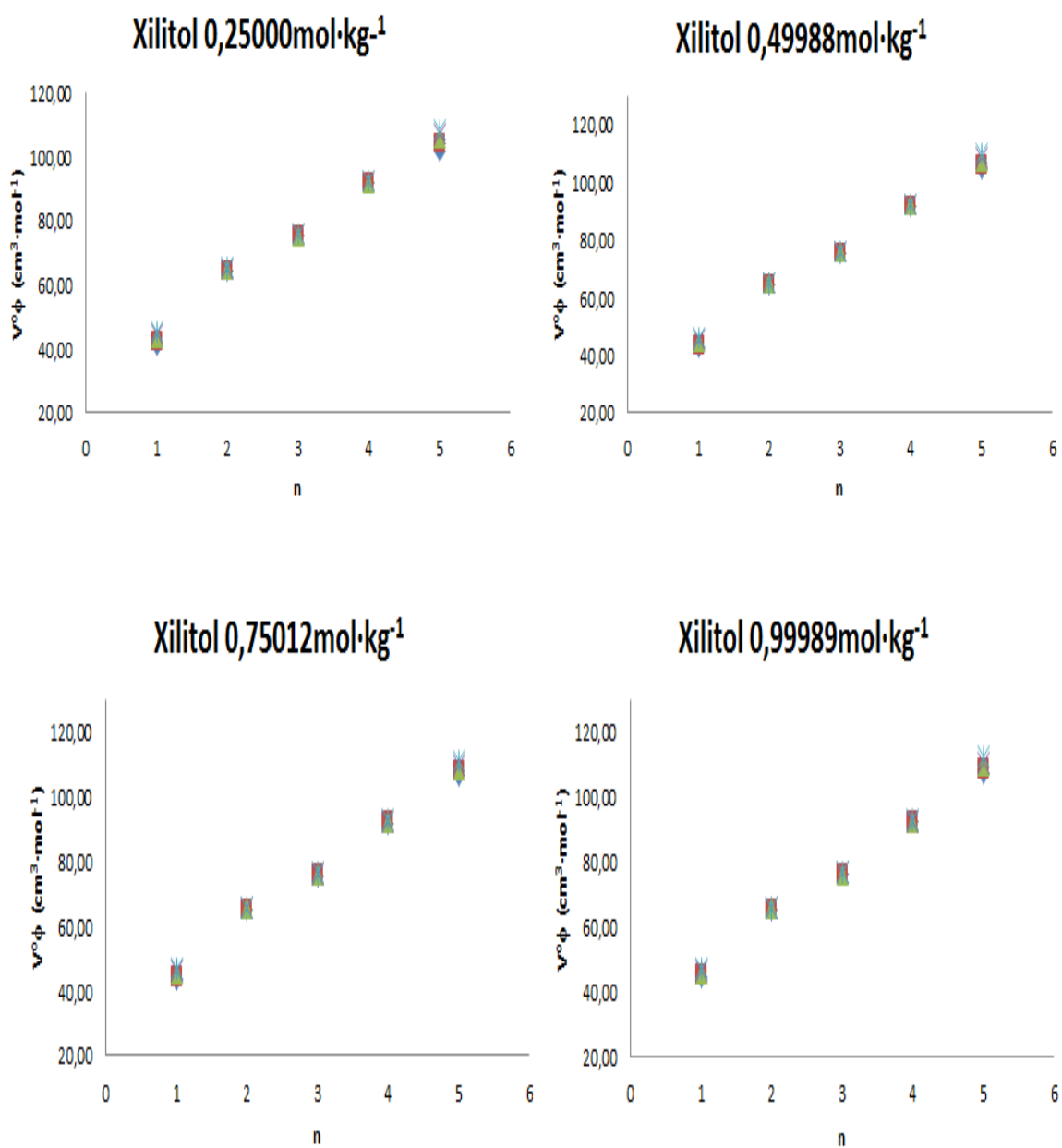


Tabla 6. Contribuciones volumétricas de los grupos metileno, y amino-carboxilo al volumen molar parcial a dilución infinita de α -aminoácidos en solución acuosa de meso eritritol y xilitol

T=293,15 K		
	$V^\circ\phi(\text{CH}_2)$	$V^\circ\phi(\text{NH}_3^+, \text{COO}^-)$
$m \text{ (mol}\cdot\text{kg}^{-1})$	$(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})$	$(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})$
0,0000	15,93 [13]	27,16 [13]
meso eritritol		
0,25054	14,11	29,34
0,51876	14,08	30,15
0,74790	14,22	30,61
0,99730	14,48	30,58
xilitol		
0,25000	14,78	30,32
0,49988	15,06	30,46
0,75012	15,19	30,88
0,99989	15,24	31,17
T=298,15 K		
	$V^\circ\phi(\text{CH}_2)$	$V^\circ\phi(\text{NH}_3^+, \text{COO}^-)$
$m \text{ (mol}\cdot\text{kg}^{-1})$	$(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})$	$(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})$
0,0000	15,8 [48]	27,78 [13]
meso eritritol		
0,25054	14,17	29,79
0,51876	14,24	30,29
0,74790	14,35	30,88
0,99730	14,60	30,85
xilitol		
0,25000	15,04	30,30
0,49988	15,12	30,91
0,75012	15,29	31,07
0,99989	15,39	31,24

T=303,15 K		
m (mol·kg⁻¹)	V°ϕ (CH₂) (cm³·mol⁻¹)	V°ϕ (NH₃⁺, COO⁻) (cm³·mol⁻¹)
0,0000	16,08 [13]	27,45 [13]
meso eritritol		
0,25054	14,43	29,77
0,51876	14,36	30,73
0,74790	14,47	31,23
0,99730	14,66	31,35
xilitol		
0,25000	15,11	30,86
0,49988	15,23	31,18
0,75012	15,35	31,42
0,99989	15,40	31,72
T=308,15 K		
m (mol·kg⁻¹)	V°ϕ (CH₂) (cm³·mol⁻¹)	V°ϕ (NH₃⁺, COO⁻) (cm³·mol⁻¹)
0,0000	16,15 [48]	27,50 [48]
meso eritritol		
0,25054	14,57	30,20
0,51876	14,49	31,04
0,74790	14,54	31,61
0,99730	14,79	31,51
xilitol		
0,25000	15,24	31,11
0,49988	15,40	31,21
0,75012	15,47	31,53
0,99989	15,51	31,86

T=313,15 K		
	$V^\circ\phi(\text{CH}_2)$	$V^\circ\phi(\text{NH}_3^+, \text{COO}^-)$
$m \text{ (mol}\cdot\text{kg}^{-1}\text{)}$	$(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})$	$(\text{cm}^3\cdot\text{mol}^{-1})$
meso eritritol		
0,25054	14,76	30,41
0,51876	14,67	31,26
0,74790	14,63	31,96
0,99730	14,80	32,03
xilitol		
0,25000	15,30	31,51
0,49988	15,51	31,44
0,75012	15,59	31,69
0,99989	15,67	31,91

Los volúmenes molares parciales a dilución infinita se incrementan ligeramente con temperatura y lo mismo se observa para las contribuciones de grupo. Un comportamiento similar ha sido reportado también para las contribuciones de grupo en el caso de α -aminoácidos en agua [49].

Al comparar la contribución de grupo, cuando los aminoácidos se encuentra en solución acuosa y cuando se encuentran en presencia de meso eritritol y xilitol, se encuentra un ligero cambio. Se evidencia que para el grupo metilo, el valor de la contribución de grupo es más alto en presencia de agua y éste disminuye un poco en presencia de xilitol y se hace menor en la presencia de meso eritritol, esto se atribuye a que la contribución es mayor en agua debido a que la cadena alifática se encuentra más expuesta que cuando se ve afectada por los grupos polares de los polioles.

En cuanto a la contribución de grupos amino y carboxilo, el valor de esta contribución es más alto en presencia de xilitol, se hace un poco más bajo en presencia de meso eritritol y es menos cuando se encuentra en solución acuosa. Esto se atribuye a las interacciones que se llevan a cabo entre los grupos polares del aminoácido con los grupos OH de los polioles, teniendo un valor más alto con xilitol debido a la presencia de otro grupo OH en su estructura.

2.4.4. Efecto de la temperatura sobre las propiedades volumétricas de los aminoácidos en las mezclas poliol-agua

Los volúmenes molares parciales a dilución infinita en función de temperatura se ajustaron a un polinomio de segundo orden para determinar las expansibilidades molares parciales a dilución infinita, \bar{E}_2^0 , según la ecuación:

$$\bar{E}_2^0 = \left(\frac{\partial \bar{V}_2^0}{\partial T} \right)_p \quad (7)$$

Los valores obtenidos para las expansibilidades molares parciales a dilución infinita calculadas para las temperaturas 293,15 K, 298,15 K, 303,15 K, 308,15 K y 313,15 K son reportados en las tablas 7-11, encontrando que los valores de expansibilidades son positivos; la tendencia que se evidencia es un aumento en el valor de las expansibilidades con respecto al aumento de concentración de poliol y de temperatura, de lo cual se puede inferir que a medida que hay un aumento en la temperatura se presenta un aumento en la expansibilidad molar parcial a dilución infinita que se atribuye a que al haber un aumento en la energía aumenta la vibración de los enlaces de las moléculas. Se observa un aumento en las expansibilidades a medida que aumenta la longitud de la cadena hidrocarbonada en los aminoácidos, si bien la glicina no cumple con esta tendencia.

Tabla 7. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de glicina en mezclas meso-eritritol-agua y xilitol-agua

glicina-meso eritritol			glicina-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma \bar{E}_2^{\circ}$	m	\bar{E}_2°	$\sigma \bar{E}_2^{\circ}$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,1726	0,0070	0,25000	0,2067	0,0080
0,50045	0,1726	0,0069	0,49988	0,1612	0,0116
0,75015	0,1603	0,0046	0,75012	0,1366	0,0066

0,99746	0,1539	0,0075	0,99989	0,1406	0,0073
T=298,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,1756	0,0071	0,25000	0,2103	0,0081
0,50045	0,1755	0,0070	0,49988	0,1640	0,0118
0,75015	0,1631	0,0047	0,75012	0,1389	0,0067
0,99746	0,1565	0,0076	0,99989	0,1430	0,0074
T=303,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,1785	0,0072	0,25000	0,2138	0,0083
0,50045	0,1785	0,0071	0,49988	0,1667	0,0120
0,75015	0,1659	0,0048	0,75012	0,1412	0,0069
0,99746	0,1591	0,0078	0,99989	0,1454	0,0076
T=308,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,1815	0,0073	0,25000	0,2173	0,0084
0,50045	0,1814	0,0072	0,49988	0,1695	0,0122
0,75015	0,1686	0,0049	0,75012	0,1436	0,0070
0,99746	0,1618	0,0079	0,99989	0,1478	0,0077
T=313,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,1844	0,0074	0,25000	0,2209	0,0085
0,50045	0,1843	0,0074	0,49988	0,1722	0,0124
0,75015	0,1713	0,0049	0,75012	0,1459	0,0071
0,99746	0,1644	0,0080	0,99989	0,1502	0,0078

Tabla 8. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de α -alanina en mezcla meso-eritritol-agua y xilitol-agua

α-alanina- meso eritritol			α-alanina-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,0532	0,0026	0,25000	0,0475	0,0036
0,50045	0,0579	0,0022	0,49988	0,0416	0,0034
0,75015	0,0570	0,0026	0,75012	0,0368	0,0022
0,99746	0,0546	0,0020	0,99989	0,0356	0,0018
T=298,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,0541	0,0027	0,25000	0,0483	0,0036
0,50045	0,0589	0,0023	0,49988	0,0423	0,0035
0,75015	0,0580	0,0027	0,75012	0,0374	0,0023
0,99746	0,0555	0,0020	0,99989	0,0362	0,0018
T=303,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,0550	0,0027	0,25000	0,0491	0,0037
0,50045	0,0599	0,0023	0,49988	0,0430	0,0035
0,75015	0,0590	0,0027	0,75012	0,0381	0,0023
0,99746	0,0565	0,0021	0,99989	0,0368	0,0018
T=308,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,0560	0,0028	0,25000	0,0499	0,0038
0,50045	0,0609	0,0023	0,49988	0,0437	0,0036
0,75015	0,0599	0,0028	0,75012	0,0387	0,0023
0,99746	0,0574	0,0021	0,99989	0,0374	0,0019

T=313,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,25315	0,0569	0,0028	0,25000	0,0507	0,0038
0,50045	0,0619	0,0024	0,49988	0,0444	0,0036
0,75015	0,0609	0,0028	0,75012	0,0393	0,0024
0,99746	0,0583	0,0021	0,99989	0,0380	0,0019

Tabla 9. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de ácido α -aminobutirico en mezcla meso-eritritol-agua y xilitol-agua

ácido α-aminobutírico- meso eritritol			ácido α-aminobutirico-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24926	0,0970	0,0050	0,25187	0,0378	0,0006
0,50616	0,0822	0,0013	0,49907	0,0426	0,0008
0,74628	0,077	0,0033	0,74787	0,0408	0,0011
100.081	0,0737	0,0010	0,99524	0,0368	0,0020
T=298,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24926	0,0987	0,0051	0,25187	0,0384	0,0006
0,50616	0,0836	0,0013	0,49907	0,0433	0,0008
0,74628	0,0783	0,0033	0,74787	0,0415	0,0012
100.081	0,0749	0,0010	0,99524	0,0374	0,0020
T=303,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24926	0,1003	0,0051	0,25187	0,0391	0,0006
0,50616	0,0850	0,0014	0,49907	0,0441	0,0008

0,74628	0,0796	0,0034	0,74787	0,0422	0,0012
100.081	0,0762	0,0010	0,99524	0,0381	0,0020
T=308,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24926	0,1020	0,0052	0,25187	0,0397	0,0006
0,50616	0,0864	0,0014	0,49907	0,0448	0,0008
0,74628	0,0809	0,0034	0,74787	0,0429	0,0012
100.081	0,0774	0,0010	0,99524	0,0387	0,0021
T=313,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24926	0,1036	0,0053	0,25187	0,0404	0,0006
0,50616	0,0878	0,0014	0,49907	0,0455	0,0008
0,74628	0,0822	0,0035	0,74787	0,0436	0,0012
100.081	0,0787	0,0011	0,99524	0,0393	0,0021

Tabla 10. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de norvalina en mezcla meso-eritritol-agua y xilitol-agua

norvalina-meso eritritol			norvalina-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24981	0,1008	0,0071	0,25079	0,0451	0,0030
0,49899	0,0940	0,0043	0,50193	0,0411	0,0005
0,74819	0,0891	0,0029	0,75397	0,0425	0,0008
0,99998	0,0799	0,0025	0,99941	0,0392	0,0015
T=298,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)

0,24981	0,1026	0,0072	0,25079	0,0459	0,0031
0,49899	0,0956	0,0044	0,50193	0,0418	0,0006
0,74819	0,0906	0,0029	0,75397	0,0432	0,0008
0,99998	0,0813	0,0025	0,99941	0,0399	0,0015
T=303,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24981	0,1043	0,0073	0,25079	0,0466	0,0031
0,49899	0,0972	0,0045	0,50193	0,0425	0,0006
0,74819	0,0922	0,0030	0,75397	0,0439	0,0008
0,99998	0,0826	0,0026	0,99941	0,0405	0,0015
T=308,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24981	0,1060	0,0075	0,25079	0,0474	0,0032
0,49899	0,0988	0,0046	0,50193	0,0432	0,0006
0,74819	0,0937	0,0030	0,75397	0,0447	0,0009
0,99998	0,0840	0,0026	0,99941	0,0412	0,0015
T=313,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24981	0,1077	0,0076	0,25079	0,0482	0,0032
0,49899	0,1005	0,0046	0,50193	0,0439	0,0006
0,74819	0,0952	0,0031	0,75397	0,0454	0,0009
0,99998	0,0854	0,0027	0,99941	0,0419	0,0016

Tabla 11. Expansibilidades molares parciales a dilución infinita de norleucina en mezcla meso-eritritol-agua y xilitol-agua

norleucina-meso eritritol			norleucina-xilitol		
T=293,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24964	0,3124	0,0122	0,25002	0,3263	0,0222
0,49959	0,2914	0,0063	0,50379	0,2765	0,0035
0,75233	0,2422	0,0105	0,74497	0,2285	0,0027
0,99875	0,2209	0,0146	0,99901	0,2330	0,0074
T=298,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24964	0,3177	0,0124	0,25002	0,3318	0,0226
0,49959	0,2964	0,0064	0,50379	0,2812	0,0036
0,75233	0,2464	0,0107	0,74497	0,2324	0,0028
0,99875	0,2247	0,0149	0,99901	0,2370	0,0075
T=303,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24964	0,3231	0,0127	0,25002	0,3374	0,0230
0,49959	0,3014	0,0065	0,50379	0,2859	0,0036
0,75233	0,2505	0,0109	0,74497	0,2363	0,0028
0,99875	0,2285	0,0151	0,99901	0,2409	0,0077
T=308,15 K					
m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24964	0,3284	0,0129	0,25002	0,3430	0,0234
0,49959	0,3064	0,0067	0,50379	0,2906	0,0037
0,75233	0,2546	0,0111	0,74497	0,2402	0,0029
0,99875	0,2322	0,0154	0,99901	0,2449	0,0078
T=313,15 K					

m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$	m	\bar{E}_2°	$\sigma\bar{E}_2^\circ$
(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(mol·kg ⁻¹)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)	(cm ³ ·mol ⁻¹ K)
0,24964	0,3337	0,0131	0,25002	0,3485	0,0237
0,49959	0,3113	0,0068	0,50379	0,2953	0,0037
0,75233	0,2587	0,0112	0,74497	0,2441	0,0029
0,99875	0,2360	0,0156	0,99901	0,2489	0,0079

La segunda derivada del volumen molar parcial a dilución infinita es definida por Hepler [50] como un criterio termodinámico para definir el carácter formador o disruptor de un soluto, siendo así, establece que: $\frac{d^2V_2^0}{dT} > 0$ El soluto se ha de considerar un soluto formador de la estructura del agua y si $\frac{d^2V_2^0}{dT} < 0$, el soluto presenta un carácter disruptor en la estructura del agua.

Los valores obtenidos para la segunda derivada del volumen molar a dilución infinita con respecto a la temperatura con el fin de aplicar el criterio de Hepler son demasiado pequeños para todos los sistemas estudiados y están muy por debajo de la incertidumbre experimental, por lo cual no es posible evaluar la tendencia; aun así es posible mencionar que el signo es positivo, por tanto, se deduce que los solutos trabajados se consideran solutos formadores de estructura del agua.

2.4.5. El volumen molar parcial a dilución infinita y la teoría de la partícula escalonada

La teoría de la partícula escalonada considera que el volumen molar parcial a dilución infinita puede ser representado como la suma de varias contribuciones [51], según la ecuación 8.

$$\bar{V}_2^0 = V_c + V_i + \beta_{TO}RT \quad (8)$$

Donde, V_c representa el volumen de la cavidad formada en el solvente, V_i es el volumen de interacción, que representa el cambio en el volumen del solvente debido a la hidratación de los

grupos polares o cargados, β_{TO} es el coeficiente de compresibilidad isotérmica del solvente, R es la constante de los gases ideales y T la temperatura absoluta.

En este estudio fue posible determinar el coeficiente de compresibilidad adiabática de las mezclas meso-eritritol-agua y xilitol-agua a partir de las medidas obtenidas de velocidades de sonido, las cuales se encuentran en la tabla B1-B2 del anexo B, para estos solventes.

$$\beta_s = \frac{1}{\rho U^2} \quad (9)$$

En donde, β_s hace referencia a la compresibilidad adiabática, ρ es la densidad medida de la mezcla poliol-agua y U hace referencia a la velocidad del sonido del solvente (poliol-agua).

A partir de la compresibilidad adiabática se determinó la compresibilidad isotérmica, usando el valor de expansibilidad térmica y capacidad calorífica del agua [52-53], por lo cual permite hacer una aproximación de ésta compresibilidad a cada una de las temperaturas medidas, estos datos están registrados en la tabla B1 y B2 del anexo B.

$$\beta_T = \beta_s + \frac{\alpha^2 T}{\rho C_p} \quad (10)$$

En donde, β_T hace referencia a la compresibilidad isotérmica, α es la expansibilidad térmica del agua, T es la temperatura trabajada, ρ es la densidad medida de la solución y C_p es la capacidad calorífica del agua.

El volumen de la cavidad generalmente se expresa como la suma de dos términos: el volumen correspondiente al centro o núcleo molecular V_M (el cual es impenetrable por el solvente) y el volumen vacío o libre V_L alrededor de las moléculas de soluto, el cual es requerido para el movimiento térmico. V_M se asume que es igual al volumen de van der Waals V_w , y este es posible calcularlo a partir de las contribuciones de grupo según el método propuesto por Bondi [11,54-57]:

$$V_c = V_M + V_L \quad (11)$$

$$V_M \approx V_w \quad (12)$$

En el caso particular de los aminoácidos, el volumen de interacción está relacionado con el efecto de electrostricción debido a las interacciones electrostáticas entre los grupos cargados y el agua. Para el caso particular de los solutos acá estudiados que son los α -aminoácidos, el volumen de cavidad formado en el solvente puede ser determinado siguiendo la aproximación propuesta por Chalikian para solutos no esféricos [58]:

$$V_c = V_w + B_1 A_w + B_2 A_w^{1/2} + B_3 \quad (13)$$

En donde, A_w es el área superficial de van der Waals calculada según el método de Bondi [54]. B_1 y B_2 son parámetros ajustables que se determinan a partir de la gráfica de la diferencia entre el volumen molar parcial a dilución infinita y el volumen de van der Waals en función del área superficial de van der Waals; esta información se muestra en la tabla C3 y C4 del anexo C.

Haciendo uso de estas contribuciones de cada grupo constituyente de los α -aminoácidos al volumen y al área superficial de van der Waals según el método de Bondi, se determina los volúmenes y áreas superficiales de van der Waals respectivas para cada α -aminoácido, los cuales se muestran a continuación en la tabla C1 y C2 del anexo C.

Según Chalikian [59] B_2 es 0 para los α -aminoácidos. La tabla C5 y C6 del anexo C muestra los valores para los coeficientes B_1 y la tabla C7 y C8 del anexo C muestra los valores para los coeficientes B_3 para cada una de las temperaturas consideradas en este trabajo y a su vez para el rango de concentración de la mezcla poliol-agua, los cuales fueron determinados a partir de la teoría de la partícula escalonada.

Los volúmenes de van der Waals, las áreas superficiales y los coeficientes obtenidos anteriormente fueron usados para calcular los volúmenes de cavidad, que se presentan en la tabla 12 y 13, haciendo uso de la ecuación 13. Se encuentra que el volumen de cavidad formada en el solvente por los α -aminoácidos incrementa cuando el área superficial aumenta, disminuye a medida que aumenta la temperatura, no muestra una clara dependencia con el aumento de grupos hidroxilo.

Tabla 12. Volúmenes de cavidad para α -aminoácidos en presencia de meso eritritol-agua. ($\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)

meso eritritol 0,25315 mol·kg⁻¹					
	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	68,18	67,64	67,35	66,79	66,59
α -alanina	84,27	83,64	83,28	82,60	82,35
ácido α -aminobutírico	100,44	99,69	99,27	98,47	98,17
norvalina	116,60	115,74	115,25	114,33	113,99
norleucina	132,77	131,79	131,24	130,19	129,81
meso eritritol 0,50045 mol·kg⁻¹					
	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	67,17	66,96	65,96	65,64	65,35
α -alanina	83,07	82,81	81,59	81,20	80,84
ácido α -aminobutírico	99,01	98,71	97,27	96,81	96,39
norvalina	114,96	114,96	112,95	112,42	111,93
norleucina	130,90	130,50	128,63	128,03	127,47
meso eritritol 0,75015 mol·kg⁻¹					
	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	65,93	65,46	64,94	64,39	64,21
α -alanina	81,56	80,98	80,35	79,68	79,45
ácido α -aminobutírico	97,24	96,55	95,81	95,01	94,75
norvalina	112,91	112,12	111,26	110,35	110,04
norleucina	128,59	127,69	126,72	125,68	125,34
meso eritritol 0,99746 mol·kg⁻¹					
	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	65,49	65,03	64,21	63,98	63,63
α -alanina	81,02	80,46	79,46	79,18	78,75
ácido α -aminobutírico	96,59	95,94	94,75	94,42	93,92
norvalina	112,17	111,41	110,05	109,67	109,09
norleucina	127,75	126,89	125,35	124,92	124,25

Tabla 13. Volúmenes de cavidad para α -aminoácidos en presencia de xilitol-agua. ($\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)

xilitol 0,25000 mol·kg⁻¹					
	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	68,27	67,13	65,68	64,64	63,70
α -alanina	84,41	83,01	81,25	79,98	78,84
ácido α -aminobutírico	100,60	98,95	96,87	95,37	94,02
norvalina	116,79	114,89	112,49	110,77	109,21
norleucina	132,98	130,83	128,11	126,16	124,39
xilitol 0,49988 mol·kg⁻¹					
	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	66,66	65,40	64,48	63,94	63,16
α -alanina	82,44	80,91	79,79	79,13	78,17
ácido α -aminobutírico	98,27	96,47	95,15	94,37	93,24
norvalina	114,11	112,03	110,50	109,61	108,30
norleucina	129,94	127,58	125,86	124,84	123,36
xilitol 0,75012 mol·kg⁻¹					
	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	65,17	64,51	63,61	63,14	62,60
α -alanina	80,63	79,83	78,72	78,15	77,50
ácido α -aminobutírico	96,14	95,19	93,89	93,21	92,44
norvalina	111,65	110,55	109,05	108,27	107,39
norleucina	127,16	125,92	124,22	123,33	122,33
xilitol 0,99989 mol·kg⁻¹					
	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	64,63	64,01	63,02	62,39	61,90
α -alanina	79,98	79,22	78,01	77,24	76,64
ácido α -aminobutírico	95,37	94,48	93,04	92,14	91,43
norvalina	110,76	109,74	108,08	107,03	106,22
norleucina	126,15	124,99	123,11	121,93	121,00

Para cada mezcla poliol-agua y a cada temperatura, el volumen de cavidad aumenta con la longitud de cadena y disminuye ligeramente con temperatura siguiendo un comportamiento similar al observado para α -aminoácidos y α,ω -aminoácidos en agua [58, 59]

Con los valores determinados anteriormente para los volúmenes de cavidad y los coeficientes de compresibilidad isotérmica de la mezcla meso eritritol-agua y xilitol-agua determinados, los cuales se adjuntan en el anexo B, se determinan los volúmenes de interacción soluto-solvente a partir de la ecuación 14.

$$V_i = \bar{V}_2^\circ - V_c - \beta_{T0}RT \quad (14)$$

En la tabla 14 y 15 se presentan los valores encontrados para el volumen de interacción a las temperaturas consideradas y en las diferentes concentraciones de meso eritritol-agua y xilitol-agua respectivamente. Para cada uno de los α -aminoácidos el volumen de interacción disminuye a medida que aumenta el rango de temperatura, esto se puede atribuir a que las interacciones soluto-solvente se ven desfavorecidas por el aumento de temperatura. A su vez el volumen de interacción disminuye a medida que aumenta la concentración de los solventes.

Tabla 14. Volumen de interacción para α -aminoácidos en presencia de meso eritritol-agua ($\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$).

Glicina					
meso eritritol					
mol·kg ⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25215	-29,30	-27,84	-26,89	-25,18	-24,18
0,50045	-26,98	-26,12	-24,01	-22,84	-21,72
0,75015	-24,42	-23,08	-21,68	-20,32	-19,43
0,99746	-23,20	-21,92	-20,11	-19,32	-18,18
α -alanina					
meso eritritol					
mol·kg ⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25215	-25,51	-24,63	-24,02	-23,11	-22,49
0,50045	-23,99	-23,49	-21,93	-21,31	-20,59

0,75015	-22,14	-21,34	-20,41	-19,47	-18,88
0,99746	-21,30	-20,54	-19,20	-18,67	-17,96
ácido α-aminobutírico					
meso eritritol					
mol·kg⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25215	-28,09	-26,90	-25,90	-24,54	-23,92
0,50045	-26,06	-25,38	-23,51	-22,61	-21,79
0,75015	-23,84	-22,82	-21,57	-20,43	-19,82
0,99746	-22,86	-21,82	-20,24	-19,56	-18,69
norvalina					
meso eritritol					
mol·kg⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25215	-28,41	-27,08	-26,26	-24,70	-23,70
0,50045	-26,29	-25,85	-23,47	-22,40	-21,33
0,75015	-23,84	-22,59	-21,29	-20,00	-19,12
0,99746	-22,68	-21,49	-19,77	-19,02	-17,94
norleucina					
meso eritritol					
mol·kg⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25215	-38,05	-35,96	-33,48	-30,79	-28,83
0,50045	-35,09	-33,37	-29,78	-27,85	-25,68
0,75015	-30,77	-28,51	-26,11	-23,97	-22,56
0,99746	-27,96	-25,77	-22,96	-21,37	-20,01

Tabla 15. Volumen de interacción para α -aminoácidos en presencia de xilitol-agua (cm³·mol⁻¹).

glicina					
xilitol					
mol·kg⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25000	-28,21	-26,09	-23,31	-19,25	-19,45

0,49988	-25,24	-22,83	-21,04	-19,92	-18,33
0,75012	-22,52	-21,12	-19,35	-18,33	-17,17
0,99989	-21,38	-20,09	-18,15	-16,91	-15,83
α-alanina					
xilitol					
mol·kg⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25000	-21,23	-19,72	-17,61	-16,10	-14,77
0,49988	-18,88	-17,28	-15,89	-14,99	-13,84
0,75012	-16,68	-15,76	-14,44	-13,71	-12,82
0,99989	-15,67	-14,81	-13,39	-12,46	-11,65
ácido α-aminobutírico					
xilitol					
mol·kg⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25000	-26,59	-24,77	-22,49	-20,82	-19,26
0,49988	-24,01	-22,00	-20,45	-19,46	-18,14
0,75012	-21,60	-20,43	-18,90	-18,05	-17,08
0,99989	-20,51	-19,37	-17,77	-16,71	-15,82
norvalina					
xilitol					
mol·kg⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25000	-26,41	-24,39	-21,68	-19,77	-17,95
0,49988	-23,52	-21,24	-19,51	-18,42	-16,88
0,75012	-20,87	-19,55	-17,85	-16,87	-15,74
0,99989	-19,76	-18,57	-16,68	-15,49	-14,43
norleucina					
xilitol					
mol·kg⁻¹	293,13 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
0,25000	-32,60	-28,21	-23,79	-20,23	-17,25
0,49988	-26,71	-23,01	-19,81	-17,32	-14,50
0,75012	-21,99	-19,55	-16,65	-14,68	-12,44
0,99989	-20,04	-17,48	-14,62	-12,29	-9,98

De las tablas 14 y 15, se evidencia que para todos los α -aminoácidos estudiados a una temperatura dada, a medida que aumenta la concentración de la mezcla poliol-agua sea meso eritritol o xilitol, disminuye el volumen de interacción. De la misma manera, cuando se analiza en una sola concentración de poliol, a medida que aumenta la temperatura disminuye el volumen de interacción.

3. Propiedades Calorimétricas

3.1. Sistemas y condiciones experimentales

Los reactivos usados fueron ácido 2-aminoetanoico (glicina) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), ácido 2-aminopropanoico (α -alanina) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), ácido 2-aminobutanoico (ácido α -aminobutírico) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), ácido 2-aminopentanoico (norvalina) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), ácido 2-aminohexanoico (norleucina) ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich), meso-eritritol ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich) y xilitol ($\geq 99\%$ Sigma-Aldrich). Se usaron las mismas condiciones que para las determinaciones experimentales en las propiedades volumétricas.

Las soluciones se prepararon en el siguiente rango de concentraciones: 0,5m, 0,75m, 1,0m, 1,25m, 1,5m y 1,75m, este rango de concentraciones dependió del sistema trabajado, se determinaron las entalpías de dilución y de mezcla a $298,15 \pm 0,01\text{K}$, para poder determinar las entalpías de mezcla, se hizo necesario que las concentraciones tanto del α -aminoácido como de la mezcla meso eritritol-agua y xilitol-agua fueran iguales.

3.2. El equipo

La calorimetría de flujo permite la determinación de los cambios energéticos que ocurren en procesos que involucran mezclas líquidas. Las medidas calorimétricas se realizaron a través de un microcalorímetro de flujo LKB 10700-1 cuya sensibilidad es de $100\mu\text{V mW}^{-1}$ a $298,15\text{K}$ (Figura 23). El calorímetro trabaja bajo el principio de celdas gemelas, con la unidad calorimétrica localizada en un termostato de aire, en el cual se tienen dos celdas de mezcla. Para el control de temperatura del calorímetro, se usó un pre-termostato Kryo-Thermostat Colora WK5 el cual fue ajustado a $293,15\text{K}$, es decir 5 unidades por debajo de la temperatura del calorímetro [60].

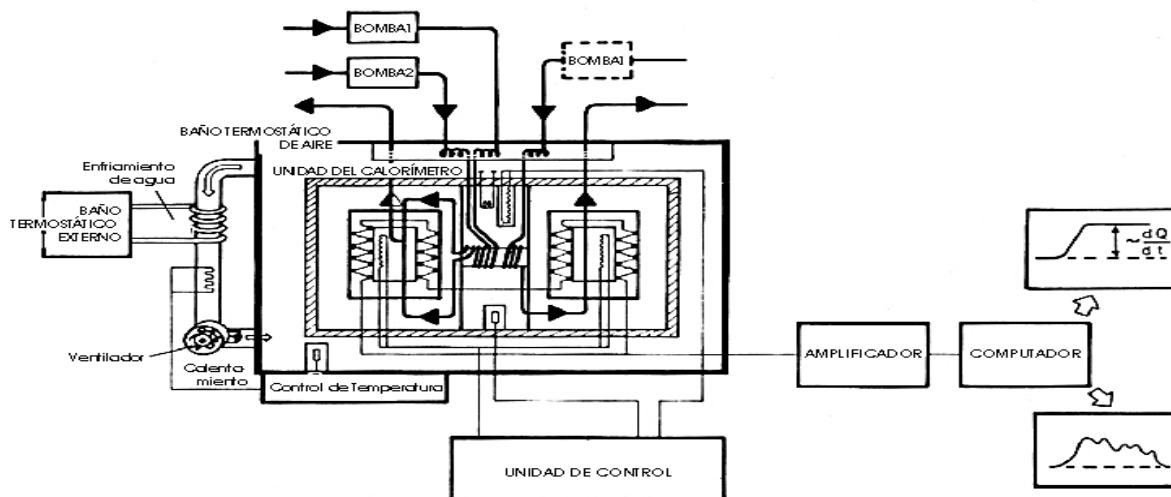


Figura 232. Diagrama esquemático del microcalorímetro de flujo LKB 10700-1 [61].

En el experimento se bombean líquidos como (agua, mezcla de meso eritritol-agua, mezcla de xilitol-agua y solución acuosa del α -aminoácido) por medio de bombas peristálticas Carter 4/8 Cassete Pump, Manostat, con una velocidad de flujo previamente determinada y el proceso de mezcla ocurre en el interior de la celda calorimétrica. Los líquidos se hacen fluir a través de bobinas termostatadas de modo que alcanzan la temperatura de equilibrio antes de llegar a la celda de mezcla. Ajustando la velocidad de flujo del agua y de la solución, se logra que el flujo de calor se disipe antes de que la mezcla salga de la espiral. El calor absorbido o liberado en la celda causa una diferencia de temperatura, la cual se manifiesta como una diferencia de voltaje que es proporcional al flujo de calor producido en el proceso. El voltaje es registrado utilizando un multímetro Hewlett Packard 34401A, que tiene una precisión de 0,002 %, conectado a un computador que presenta el resultado por unidad de tiempo.

Para determinar el calor de dilución y de mezcla se realizaron varios grupos de experimentos en los cuales las concentraciones, tanto de los aminoácidos como de los polioles fueron semejantes, las soluciones pasan al interior del calorímetro a través de las bombas A y B mediante un proceso que sigue la siguiente secuencia:

1. $A_{\text{agua}} + B_{\text{agua}}$ Línea Base
2. $A_{\text{aa}} + B_{\text{agua}}$ ΔH_{dilaa}

- | | | | | |
|----|------------|---|--------------|------------------------|
| 3. | A_{aa} | + | B_{poliol} | ΔH_{mezcla} |
| 4. | A_{agua} | + | B_{poliol} | $\Delta H_{dilpoliol}$ |
| 5. | A_{agua} | + | B_{agua} | Línea Base |

El calor que es absorbido o liberado dentro de la celda del calorímetro, se mide a partir de los datos de potencial eléctrico y el flujo de soluciones. En el paso 1 se determina la línea base, el posterior cambio de potencial registrado en el paso 2 es debido al proceso de dilución del aminoácido, el cambio de potencial en el paso 3 es debido al proceso de mezcla entre el aminoácido y el poliol, el cambio de potencial en el paso 4 es debido al proceso de dilución del poliol y por último en el paso 5 se restituye la línea base [60].

3.3. Calibración del equipo

La calibración eléctrica se realiza suministrando diferentes valores de intensidad de corriente al calorímetro y evaluando la variación de potencial con respecto a la línea base. La curva de calibración será dada por el calor producido de forma eléctrica contra el cambio en la línea base y la pendiente de la curva es la constante del calorímetro.

La estabilidad de la línea base se determina midiendo el cambio de potencial registrado al dejar fluir agua sin aplicar trabajo eléctrico. Esta línea base debe tener valores muy pequeños de voltaje, para de esta forma poder determinar pequeños cambios en el flujo de calor del proceso.

La calibración del calorímetro implica determinar la constante de calibración ε del instrumento por el método eléctrico. Para ello, se genera un flujo de calor dentro de la celda calorimétrica, permitiendo que se genere una diferencia de temperatura entre la celda y el pozo de potencial y como se conoce la resistencia eléctrica R de la celda que tiene un valor de 50,0136 Ohms, y la corriente suministrada I , se puede calcular la potencia eléctrica W_{calib} mediante la siguiente ecuación:

$$W_{calib} = I^2 R \quad (15)$$

La señal que es enviada por el calorímetro permite conocer la diferencia de potencial por medio del cambio en la línea base y se conoce la potencia eléctrica, se determina la constante de

calibración del calorímetro ε , es decir, la relación entre el calor que fluye a través de la celda y el cambio en la señal que registra el multímetro de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W_{calib} = \varepsilon \cdot E_{calib} \quad (16)$$

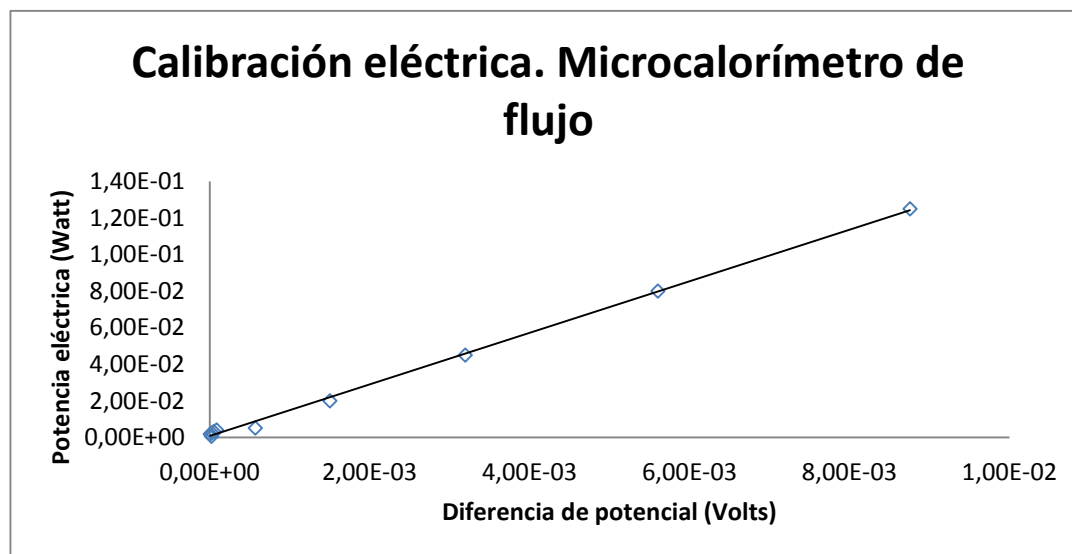
Conociendo la resistencia interna del calorímetro, la intensidad de corriente suministrada I , y la señal eléctrica producida en el proceso de calibración, E_{cal} , se determina la constante del calorímetro a cada una de las temperaturas seleccionadas a partir de la pendiente de la gráfica de $I^2 R$ vs. E_{cal} [61].

3.4. Resultados y discusión

3.4.1. Entalpía de dilución

La calibración del equipo se realizó en un rango de corriente entre 3mA y 50mA. Se determinó el valor promedio de la línea base el cual fue $5,44 \times 10^{-04}$ V, el valor de la resistencia interna fue de 50,0136 Ohms, en la tabla D1 del anexo D, se registran los valores en cada punto de calibración, y se evidencian los datos de la calibración eléctrica, determinando así la diferencia de potencial y la potencia eléctrica, con lo cual se obtuvo la figura 24, la regresión lineal de los datos muestra un $R^2=0,9981$ y la pendiente de la gráfica relacionada con la constante de calibración del calorímetro tiene un valor experimental de $14,1 \text{ W} \cdot \text{V}^{-1}$ a 298.15 K.

Figura 24. Curva de calibración eléctrica para el microcalorímetro de flujo LKB 10700-1 a 298,15K.



Dos bombas peristálticas controlan el flujo de las sustancias en el calorímetro. Para determinar los flujos se pesa inicialmente cierta cantidad de líquido (agua y solución) y se deja fluir a través del calorímetro durante un determinado tiempo, en este caso en particular se determinó el flujo dejando correr la solución durante diez minutos, al final de esto se vuelve a pesar el líquido. Así los flujos que se trabajaron para la primera bomba fue de $3,6674\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$ y para la segunda bomba de $3,021\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$.

Teniendo los valores de los flujos y la constante de calibración del calorímetro es posible determinar las entalpías de dilución por mol de soluto según la ecuación 17:

$$\Delta H_{dil} = \frac{W(1+miM)}{mif_A} \quad (17)$$

En donde, ΔH_{dil} ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$), hace referencia a la entalpía de dilución para cada soluto en este caso el aminoácido y el poliol, W (μW), son las medidas de potencia eléctrica, f_A y f_B ($\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$) el respectivo flujo de solución, M ($\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$) es la masa Molar y m_f ($\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$) hace referencia a la molalidad final la cual se determina con la siguiente ecuación:

$$mf = \frac{mif_A}{[f_B(miMx+1)+f_A]} \quad (18)$$

Los resultados experimentales de las medidas de los potencial, potencia eléctrica, flujos, pesos moleculares, son reportados en la tabla E1-E5 del anexo E. Las entalpías de dilución de las soluciones acuosas, las molalidades iniciales y finales, se incluyen en la tabla 16 para los α -aminoácidos: glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico a 298,15 K y en la tabla 17 para los polioles: meso eritritol y xilitol a 298,15 K. No fue posible determinar las entalpías de dilución de la norvalina y la norleucina en agua, ni las entalpías de mezcla de estos aminoácidos con las mezclas poliol-agua, ya que por su baja solubilidad, la magnitud de las medidas de potencia eléctrica son muy pequeñas y no manifiestan cambios respecto a la línea base.

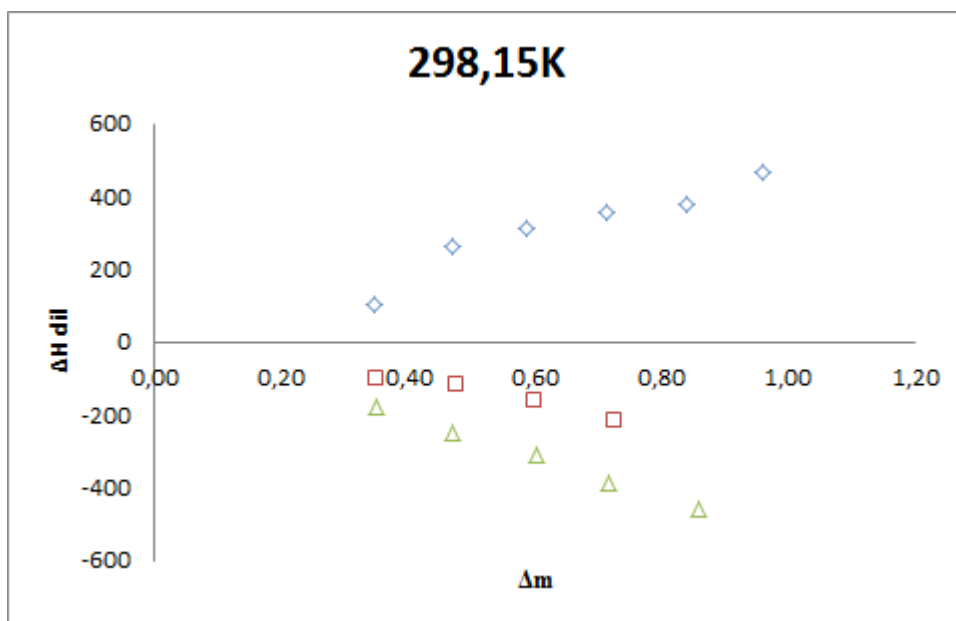
Tabla 16. Entalpías de dilución de soluciones acuosas de glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico a 298,15 K.

glicina		
m_i (mol·kg ⁻¹)	m_f (mol· kg ⁻¹)	ΔH_{dil} (J·mol ⁻¹)
1,97310	1,01408	466,6
1,74390	0,90285	378,8
1,49480	0,78013	357,7
1,24130	0,65318	312,5
0,99930	0,53001	259,9
0,74540	0,39869	103,8
α -alanina		
m_i (mol·kg ⁻¹)	m_f (mol· kg ⁻¹)	ΔH_{dil} (J·mol ⁻¹)
1,49510	0,77329	-209,1
1,24520	0,65022	-159,2
0,99860	0,52644	-110,3
0,74060	0,39434	-95,2
ácido α -aminobutírico		
m_i (mol·kg ⁻¹)	m_f (mol· kg ⁻¹)	ΔH_{dil} (J·mol ⁻¹)
1,74110	0,88314	-457,9
1,47430	0,75650	-388,6
1,25060	0,64803	-310,1
0,98710	0,51749	-250,3
0,74520	0,39494	-180,6

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Máxima incertidumbre en la entalpía de dilución = $\pm 0,1 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$

Figura 25. Entalpías de dilución de soluciones acuosas de glicina (\diamond), α -alanina (\square), ácido α -aminobutírico (\triangle) a 298,15K



La Figura 25, muestra el comportamiento de las entalpías de dilución de glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico en agua a 298,15 K, en función del cambio de molalidad Δm . En donde se evidencia, que el proceso de dilución de la glicina en agua es un proceso endotérmico, mientras que la dilución de la α -alanina y del ácido 2-aminobutirico en agua son procesos exotérmicos. También se aprecia que la pendiente límite se hace más negativa a medida que se aumenta la longitud de cadena al comparar el comportamiento de la α -alanina y el ácido α -aminobutírico, de lo cual se puede deducir que los solutos interactúan con el agua principalmente a través de sus grupos alquilo.

Las pendientes límites de las curvas de entalpía de dilución con concentración para α -alanina y ácido α -aminobutírico son $-312,3 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ y $-547,7 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ respectivamente se relacionan con la hidratación hidrofóbica y la de la glicina es $513,9 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ la cual se relaciona con la hidratación

hidrofílica. Este comportamiento concuerda con lo expresado por otros autores para solutos semejantes [14,18-29,62]

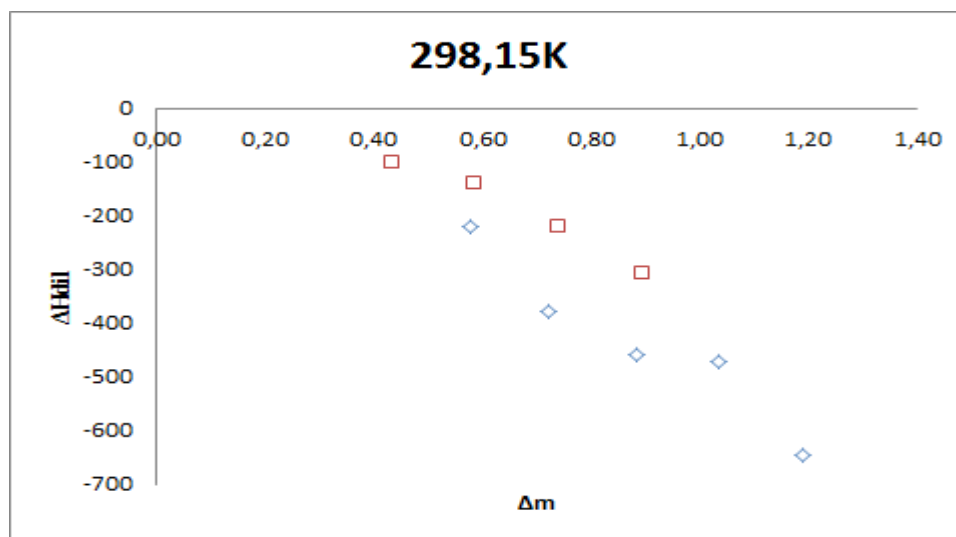
Tabla 17. Entalpías de dilución de soluciones acuosas de meso-eritritol y xilitol a 298,15K.

meso eritritol		
m_i (mol·kg ⁻¹)	m_f (mol·kg ⁻¹)	ΔH_{dil} (J·mol ⁻¹)
1,98100	0,79025	-647,9
1,74060	0,70414	-473,4
1,50140	0,61623	-458,1
1,23990	0,51713	-379,5
0,99990	0,42333	-219,5
Xilitol		
m_i (mol·kg ⁻¹)	m_f (mol·kg ⁻¹)	ΔH_{dil} (J·mol ⁻¹)
1,49240	0,59946	-305,8
1,24870	0,51082	-216,9
0,99610	0,41542	-136,8
0,74860	0,31829	-99,4

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹.

Máxima incertidumbre en la entalpía de dilución = $\pm 0,1$ J·mol⁻¹

Figura 26. Entalpías de dilución de soluciones acuosas de meso eritritol (\diamond) y xilitol (\square).



La Figura 26 muestra el comportamiento de las entalpías de dilución de meso eritritol y xilitol, en agua a 298,15 K, en función del cambio de molalidad Δm . La entalpía de dilución del meso eritritol y xilitol son negativas y representan procesos exotérmicos. El valor de la entalpía se hace menos negativo a medida que hay un aumento en la cantidad de grupos hidroxilo, lo cual concuerda con la información reportada en literatura [63]. Para los polioles las pendientes de las curvas de entalpía de dilución con concentración para meso eritritol y xilitol son $-615,1 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ y $-453,3 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ respectivamente, de lo cual se puede decir que se relacionan con la hidratación hidrofílica.

3.4.2. Entalpía de mezcla

La entalpía de mezcla ΔH_{mez} ($\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$) de las soluciones acuosas de α -aminoácidos en presencia de meso eritritol y xilitol, son registradas en las tablas 18-23, estas entalpías fueron calculadas mediante la ecuación 19:

$$\Delta H_{mez} = \frac{W}{(f_A + f_B - m_i M_x f_A - m_y M_y f_B)} \quad (19)$$

Donde W es la potencia eléctrica registrada para cada proceso, M_x ($\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$) es la masa molar del soluto y m_i ($\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$) es la molalidad inicial de cada sistema. Estas potencias eléctricas de las mezclas de α -aminoácidos en polioles son reportados en las tablas E1-E6 del anexo E.

De acuerdo con la teoría de McMillan-Mayer [7], las entalpías de dilución se relacionan con las entalpías de exceso y pueden expresarse como una expansión virial de las molalidades de soluto, que se representa por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta H_{dil} = H^E(mf) - H^E(mi) \quad (20)$$

$$= h_{xx}(mf - mi) + h_{xxx}(mf^2 - mi^2) + h_{xxxx}(mf^3 - mi^3)$$

Los coeficientes homotáticos h_{xx} , h_{xxx} y superiores representan las interacciones soluto - soluto entre moléculas solvatadas, m_i y m_f representan las molalidades iniciales y finales

Para determinar los coeficientes de interacción heterotáticos [64], se calculan las entalpías de dilución ΔH_{dil} ($J \cdot kg^{-1}$) según la ecuación 21, la cual se encuentra con base en una cantidad de agua w^1 , y a partir del mismo modelo, pero ahora teniendo en cuenta los diferentes solutos, se combinan las entalpías de dilución de cada especie con la entalpía de mezcla, ΔH_{mez} , para generar una función auxiliar H^*_{aux} , las ecuaciones 23 y 24, de donde se pueden extraer los coeficientes de interacción heterotáticos h_{xy} del sistema, la entalpia de mezcla y la auxiliar es reportada en la tabla 18-23.

$$\Delta H^\circ dil = \frac{W}{(fA + fB - miMxfA)} \quad (21)$$

$$\frac{H^E(mx, my)}{w_1} = \frac{H(mx, my)}{w_1} - hw - mxH_{x,m}^\infty - myH_{y,m}^\infty \quad (22)$$

$$= h_{xx}m_x^2 + 2h_{xy}m_xm_y + h_{yy}m_y^2 + h_{xxx}m_x^3 + 3h_{xxy}m_x^2m_y + 3h_{xyy}m_xm_y^2 + h_{yyy}m_y^3 + \dots$$

$$\Delta H^* = \Delta H_{mez} - \Delta H_{dil}(x) - \Delta H_{dil}(y) \quad (23)$$

$$= H^E(mx, my) - H^E(mx) - H^E(my)$$

$$\frac{\Delta H^*}{w_1} = 2h_{xy}m_xm_y + 3h_{xxy}m_x^2m_y + 3h_{xyy}m_xm_y^2 + \dots \quad (24)$$

Donde $H^E(m_x, m_y)$ es la entalpia de exceso y $H(m_x, m_y)$ es la entalpía molar real, referidas a una solución que contiene m_x de x y m_y de y en una masa de w_1 de agua, h_w^* es la entalpía estándar de 1 kg de agua pura, $H_{x,m}^\infty$ y $H_{y,m}^\infty$ son las entalpías molares parciales límite y h_{xy} h_{xxy} son los coeficientes viriales de pares y tripletas que representa la interacción entre las diferentes especies. Los valores hallados experimentalmente tanto para las $\Delta H^\circ_{dil}(x)$ como para la $\Delta H^\circ_{dil}(y)$ junto con los valores de la entalpía de mezcla y la función auxiliar son reportados en las tablas 18-23.

Tabla 18. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de glicina y meso eritritol a 298,15K

glicina	glicina		eritritol	eritritol			
m_i	m_f	$\Delta H^\circ_{\text{dil gly}}$	m_i	m_f	$\Delta H^\circ_{\text{dil erit}}$	ΔH_{mezcla}	H^*_{aux}
$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$
1,97315	1,01413	478,5	1,98176	0,79025	-524,2	-680,8	-635,1
1,74394	0,90295	345,1	1,74064	0,70414	-339,5	-478,8	-484,4
1,49488	0,78016	280,9	1,50148	0,61623	-286,2	-367,4	-362,1
1,24137	0,65323	205,1	1,23996	0,51713	-198,1	-247,1	-254,1

Tabla 19. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de α -alanina y meso eritritol a 298,15K

α -alanina	α -alanina	$\Delta H^\circ_{\text{dil}}$	eritritol	eritritol			
m_i	m_f	alan	m_i	m_f	$\Delta H^\circ_{\text{dil erit}}$	ΔH_{mezcla}	H^*_{aux}
$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$
1,72639	0,88514	-162,7	1,74069	0,70416	-261,7	63,1	487,5
1,44286	0,74778	-104,1	1,50146	0,61622	-201,9	33,7	339,9
1,23527	0,64532	-65,7	1,23999	0,51714	-122,4	25,2	213,4
0,99674	0,52559	-37,6	0,99999	0,42333	-70,3	14,3	122,3

Tabla 20. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de ácido α -aminobutírico y meso eritritol a 298,15K

aminob.	aminob.	$\Delta H^\circ_{\text{dil}}$	eritritol	eritritol			
m_i	m_f	Aminob	m_i	m_f	$\Delta H^\circ_{\text{dil erit}}$	ΔH_{mezcla}	H^*_{aux}
$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$
1,74116	0,88315	-411,1	1,74065	0,70414	-278,2	183,4	872,7
1,47434	0,75657	-297,5	1,50144	0,61621	-174,2	118,4	590,2
1,25065	0,64809	-202,6	1,23998	0,51713	-97,5	72,7	372,9

0,98713	0,51756	-130,2	0,99999	0,42333	-54,2	68,2	252,7
0,74525	0,39497	-71,5	0,74824	0,32184	-33,2	30,6	135,4

Tabla 21. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de glicina y xilitol a 298,15K

glicina	glicina		xilitol	xilitol			
m_i	m_f	$\Delta H^\circ_{\text{dil gly}}$	m_i	m_f	$\Delta H^\circ_{\text{dil xilit}}$	ΔH_{mezcla}	H^*_{aux}
$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$
1,49186	0,77865	280,8	1,49243	0,59946	-187,2	-1700,7	-1794,3
1,24153	0,65336	205,1	1,24875	0,51082	-112,4	-1374,6	-1467,2
1,01376	0,53743	138,2	0,99616	0,41542	-57,4	-751,2	-832,1
0,75517	0,40379	90,4	0,74869	0,31829	-31,8	-77,9	-15,6

Tabla 22. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de α -alanina y xilitol a 298,15K

alanina	alanina	$\Delta H^\circ_{\text{dil}}$	xilitol	xilitol			
m_i	m_f	alan	m_i	m_f	$\Delta H^\circ_{\text{dil xilit}}$	ΔH_{mezcla}	H^*_{aux}
$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$
1,49513	0,77335	-163,1	1,49546	0,60054	-192,2	84,9	440,3
1,24526	0,65024	-104,2	1,24287	0,50864	-130,5	49,9	284,7
0,99867	0,52649	-58,3	0,99784	0,41607	-55,3	36,9	150,5
0,74061	0,39435	-37,6	0,74087	0,31515	-21,4	24,8	83,9

Tabla 23. Entalpia de dilución y mezcla para las soluciones acuosas de α -aminobutirico y xilitol a 298,15K

aminob.	aminob.	$\Delta H^\circ_{\text{dil}}$	xilitol	xilitol			
m_i	m_f	aminob.	m_i	m_f	$\Delta H^\circ_{\text{dil xilit}}$	ΔH_{mezcla}	H^*_{aux}
$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$
1,49657	0,76727	-499,6	1,49687	0,60104	-200,1	449,3	1149,1
1,24184	0,64378	-364,7	1,24164	0,50818	-120,1	333,8	818,9
1,00089	0,52443	-210,4	1,00108	0,41731	-66,1	86,1	362,6
0,74435	0,39456	-99,1	0,74476	0,31671	-35,2	59,2	193,4

Los resultados muestran que los valores de entalpías de mezcla entre glicina- meso eritritol y glicina- xilitol son negativos y la magnitud aumenta a medida que aumenta la concentración, indicando que se está llevando a cabo un proceso exotérmico; se hacen más negativos cuando la interacción es con xilitol, indicando un mayor cambio de energía cuando hay presencia de un grupo OH más.

Se obtienen valores positivos para las entalpías de mezcla entre α -alanina con meso eritritol y xilitol y para el ácido α -aminobutírico con meso eritritol y xilitol indicando un proceso endotérmico. Para la α -alanina los valores obtenidos se hacen ligeramente más altos cuando se determina la entalpía de mezcla con xilitol que cuando es con meso eritritol y para las entalpías de mezcla del ácido α -aminobutírico con meso eritritol y xilitol los valores son positivos y más grandes para la interacción entre α -aminobutírico y poliol que para α -alanina poliol, debido al aumento de grupos CH_2 ; a su vez aumentan cuando se lleva a cabo la interacción entre los aminoácidos con xilitol, debido a la presencia de un grupo OH más en la estructura del xilitol.

3.4.3. Coeficientes de interacción homotácticos y heterotácticos

A partir de los datos obtenidos para las entalpías de dilución es posible determinar los coeficientes de interacción h_{xx} , los cuáles fueron obtenidos ajustando los datos experimentales de estas entalpías por mínimos cuadrados mediante la ecuación 22. Se determinaron los coeficientes de interacción homotácticos para cada sistema trabajado, tanto para α -aminoácidos como para los polioles y los valores obtenidos en este trabajo a 298,15 K son presentados en la tabla 24 para glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico, y en la tabla 25 para meso-eritritol y xilitol. Se observa que los coeficientes de interacción entre pares son mucho mayores que los coeficientes de interacción entre triplete, y los últimos no siguen una tendencia clara. Debido a la incertidumbre en los valores de los coeficientes de orden superior, el análisis se limita solo a los coeficientes de interacción entre pares.

“El signo y magnitud de los coeficientes homotácticos de interacción entre pares son una consecuencia de la interacción de la región de solvatación hidrofóbica y la región de solvatación

hidrofílica entre moléculas de soluto y ha sido interpretado como el resultado de diferentes contribuciones que describen los efectos relacionados con: (i) la interacción polar-polar entre los grupos amino y carboxilo fuertemente hidratados que pueden participar en puentes de hidrógeno y tienen una contribución negativa a h_{xx} . (ii) el efecto endotérmico debido a la deshidratación parcial de las capas de solvatación caracterizado por una contribución positiva a h_{xx} . (iii) Interacciones hidrofóbicas que involucran cadenas apolares caracterizadas por una contribución positiva a h_{xx} [18-19, 65-66]

Tabla 24. Coeficientes de interacción homotácticos h_{xx} para glicina, α -alanina y ácido α -aminobutírico en solución acuosa a 298,15K

	h_{xx}^a	h_{xxx}^b
α -glicina	-480,51±115 -439 [72]	-0,95±46
α -alanina	201,33±54 217 [72]	36,72±27
ácido 2-aminobutírico	507,11±23 505 [72]	11,02±10

^a J kg mol⁻²

^b J kg² mol⁻³

Tabla 25 Coeficientes de Interacción Homotácticos h_{yy} para meso-eritritol y xilitol en solución acuosa a 298,15K

	h_{yy}^a	h_{yyy}^b
meso-eritritol	356,60±131	64,34±55
xilitol	71,81±39	129,16±21

^a J kg mol⁻²

^b J kg² mol⁻³

Los coeficientes de interacción homotácticos entre pares, h_{xx} , entre las moléculas de soluto en solución acuosa a 298,15 K, muestran el siguiente comportamiento, basándonos en el signo y la

magnitud: Los coeficientes para la glicina muestran una contribución negativa atribuido a contribuciones exotérmicas, debido a la estructura de la molécula que favorece la interacción polar-polar entre los grupos amino y carboxilo, los cuáles pueden ser fuertemente hidratados, permitiendo que estos grupos participen en la formación de puentes de hidrógeno, favoreciendo así las interacciones hidrofílicas.

Los coeficientes de interacción entre pares, h_{xx} , para α -alanina, ácido α -aminobutírico, los cuales tiene una cadena apolar extendida, se pueden presentar dos tipos de interacciones; la primera entre los grupos alifáticos hidratados, que se manifiesta como un efecto endotérmico en el valor de h_{xx} , este efecto depende de la cantidad de carbonos presentes en la cadena apolar del aminoácido, el segundo tipo de interacción es generado por los grupos polares que se encuentran en la cabeza zwitterionica del aminoácido, tanto del grupo amino como del grupo carboxilo, estas interacciones también pueden estar mediadas por esferas de hidratación, las cuales están bajo una influencia marcada de las cargas iónicas, teniendo así un efecto exotérmico sobre el coeficiente entálpico. Además la interacción soluto-soluto, conlleva a la deshidratación de las moléculas del soluto, teniendo así un carácter endotérmico [67-68]. En este estudio los aminoácidos muestran un signo positivo, lo cual, puede ser atribuido al dominio de las contribuciones endotérmicas debidas al efecto combinado de la deshidratación parcial de las capas de solvatación y la interacción de las cadenas apolares en presencia de agua, sobre las interacciones entre grupos polares que se caracterizan por una contribución exotérmica.

Para los α -aminoácidos como α -alanina y ácido α -aminobutírico se observa que el valor del coeficiente aumenta cuando aumenta la longitud de la cadena, es decir, cuando el área superficial hidrofóbica accesible aumentan, reflejando una repulsión neta entre el soluto y el solvente y un incremento del efecto de los grupos $-\text{CH}_2-$. El comportamiento con longitud de cadena es similar al observado para otros solutos con una cadena alquílica [69].

El efecto de las interacciones directas entre grupos polares de un par de moléculas de aminoácido se debilita cuando el número de grupos metileno aumenta sugiriendo que las interacciones hidrofóbicas son fortalecidas con el incremento de la longitud de cadena.

La interacción par de alcoholes y polioles h_{xx} , que involucran lados de cadena es afectada por el número y posición de grupos OH. En este estudio se evidencia que los valores de h_{xx} de meso eritritol y xilitol son positivos, favoreciendo el efecto endotérmico debido a la hidratación hidrofóbica que involucran cadenas apolares y el agua, las cuales dominan la interacción polar-polar entre grupos OH, se evidencia también que los valores de h_{xx} tienden a ser más pequeños cuando se incrementa el número de grupos OH mostrando que el meso eritritol tiene un comportamiento más hidrofóbico que el xilitol, lo cual se hace consistente con valores reportados por otros autores [63].

Los coeficientes de interacción homotáticos reportados para este estudio son comparables con los reportados por otros autores donde el signo es el mismo y la magnitud se parece, las pequeñas diferencias se pueden deber al cambio en el rango de la concentración, puesto que las interacciones ocurren entre moléculas solvatadas.

Tabla 26. Coeficientes de interacción heterotáticos entre glicina, α -alanina y ácido α -aminobutírico con meso eritritol en solución acuosa a 298,15 K

	h_{xy}^a	h_{xyy}^b
glicina + meso eritritol	-296,16±68	464,78±11
α -alanina+ meso eritritol	396,84±36	-333,14±31
ácido α -aminobutírico + meso eritritol	303,44±103	137,79±13

^a J kg mol⁻²

^b J kg² mol⁻³

Tabla 27. Coeficientes de interacción heterotáticos entre α -glicina, α -alanina y ácido α -aminobutírico con xilitol en solución acuosa a 298,15 K

	h_{xy}^a	h_{xyy}^b
glicina + xilitol	-925,64 ± 149	20941,22 ± 29515
α -alanina + xilitol	527,31±53	9425,85±1245
ácido α -aminobutírico	1421,44±282	43898,77±7264

^a J kg mol⁻²

^b J kg² mol⁻³

Las interacciones que se presentan entre una molécula de α -aminoácido y una molécula de poliol a partir del coeficiente de interacción heterotático h_{xy} , son reportados en la tabla 26 y 27 y se pueden describir como: (i) interacción entre la parte zwitteriónica del α -aminoácido y el grupo hidroxilo del poliol que representa un efecto exotérmico, (ii) interacción entre la cadena carbonada (parte apolar) del aminoácido y el grupo hidroxilo (parte polar) del poliol proponiendo un efecto endotérmico, (iii) interacción entre la parte zwitteriónica del aminoácido y la cadena carbonada del poliol, presentando una contribución endotérmica, y (iv) interacción entre las cadenas apolares de los dos solutos cuyo efecto es endotérmico.

Teniendo en cuenta lo anterior, el valor obtenido para el coeficiente de interacción heterotático h_{xy} para glicina con meso eritritol y xilitol muestra valores negativos, mostrando así que en este caso prevalece las interacciones entre la parte zwitteriónica de la glicina y el grupo hidroxilo del meso eritritol y del xilitol, es decir la interacción entre las partes polares, produciéndose un efecto exotérmico.

Por el contrario para los coeficientes heterotáticos obtenido para α -alanina y ácido α -aminobutírico con meso eritritol y xilitol, se obtuvieron valores positivos, para este caso, existen tres tipos de contribuciones positivas para al valor de h_{xy} , que explican el valor positivo y de gran magnitud obtenida para este parámetro, en cualquier caso produciéndose un efecto endotérmico.

4. Conclusiones

En este trabajo se obtuvo información experimental novedosa respecto a densidad, volúmenes molares parciales, entalpías de dilución, entalpías de mezcla para α -aminoácidos: glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico, norvalina y norleucina en soluciones acuosas de meso-eritritol y xilitol en función de la temperatura para las propiedades volumétricas a 298,15 K para las propiedades calorimétricas. Los datos experimentales permitieron determinar propiedades termodinámicas y, utilizando teorías como la de McMillan-Mayer, se obtuvieron parámetros de interacción que permitieron la interpretación del comportamiento de estos sistemas.

Debido a la estabilidad, reproducibilidad y precisión de la información obtenido con el densímetro Anton Paar fue posible determinar las propiedades volumétricas en el rango de temperatura entre 293,15 K y 313,15 K, permitiendo determinar las expansibilidades molares de los aminoácidos en los solventes acuosos y evaluar cómo se afectan las interacciones y los procesos de solución de los sistemas trabajados cuando hay variación en la energía.

Las propiedades volumétricas analizadas muestran que los volúmenes molares aparentes y los volúmenes molares parciales a dilución infinita, obtenidos para los α -aminoácidos en las mezclas de meso eritritol-agua y xilitol-agua, muestran un aumento al compararlos con los valores de los volúmenes de los α -aminoácidos en agua. Esto se puede atribuir a la fuerte interacción hidrofílica del poliol con el agua. Se evidencia un aumento en el volumen molar aparente, a medida que aumenta la concentración del aminoácido y la concentración de las mezclas meso eritritol-agua y xilitol-agua. A su vez se observa que el valor del volumen molar aparente es mayor cuando los aminoácidos interactúan con xilitol que cuando interactúan con meso-eritritol, debido a la presencia de un grupo OH más en la cadena lo que hace que se fortalezca la interacción del poliol con el agua.

La pendiente positiva de las gráficas de volumen molar aparente en función de la concentración, indica que la influencia de los grupos OH de estos polioles es muy grande, en consecuencia para todos los aminoácidos estudiados en la mezcla poliol-agua, prima la hidratación hidrofílica sobre la hidratación hidrofóbica.

La contribución de grupo muestra una tendencia a aumentar con la concentración de meso eritritol y xilitol. El volumen molar parcial a dilución infinita es una función lineal del número de átomos de carbono de la cadena hidrocarbonada del α -aminoácido, mostrando que la contribución del grupo CH_2 al volumen molar parcial a dilución infinita es aditivo.

El efecto de la temperatura sobre las propiedades volumétricas de los α -aminoácidos en solución acuosa de meso eritritol y xilitol, es muy pequeña. Aun así, se evidencia un aumento en el valor de las expansibilidades con respecto al aumento de concentración de poliol y de temperatura. Esto se atribuye a que al haber un aumento en la energía, se aumenta la vibración de los enlaces de las moléculas, a su vez se evidencia un aumento en las expansibilidades a medida que aumenta la cadena hidrocarbonada en los aminoácidos.

El volumen de interacción a las temperaturas consideradas es negativo y su magnitud aumenta con el incremento del área superficial y el número de grupos metileno para los α -aminoácidos estudiados, posiblemente debido a que a medida que aumenta la longitud de la cadena, aumenta el área superficial expuesta al solvente.

Se determinaron las entalpías de dilución de α -glicina, obteniendo valores positivos que indican el carácter endotérmico para el proceso de dilución de este soluto. Por el contrario para las entalpías de dilución de α -alanina, ácido α -aminobutírico, meso-eritritol y xilitol, los valores obtenidos fueron negativos lo cual indica el carácter exotérmico del proceso.

Adicionalmente, se hallaron las entalpías de mezcla entre los α -aminoácidos y los polioles estudiados, encontrando que para la mezcla glicina con meso eritritol y con xilitol, los valores son negativos evidenciando un proceso exotérmico, mientras que para las mezclas de α -alanina y ácido α -aminobutírico con meso-eritritol y xilitol se encontraron valores positivos, evidenciando así un proceso endotérmico de mezcla.

Haciendo uso de la teoría de McMillan Mayer se determinaron los coeficientes de interacción entálpica, el valor encontrados para h_{xx} de glicina es de $-480,51 \pm 115 \text{ J Kg mol}^{-2}$, evidenciando que la contribución energética para la interacción entre dos moléculas de este soluto es de carácter exotérmico reflejando su carácter polar. Mientras que los valores encontrados para los coeficientes de interacción entálpica para α -alanina, ácido α -aminobutirico fueron $201,33 \pm 54$

J.Kg.mol^{-2} y $507,11 \pm 23 \text{ J.Kg.mol}^{-2}$ respectivamente, estos valores son positivos lo cual evidencia que la contribución energética para la interacción entre dos moléculas de estos solutos es de carácter endotérmico, el valor incrementa al aumentar la longitud de la cadena, reflejando las interacciones predominantes del grupo apolar-agua.

En cuanto a los valores encontrados para meso eritritol y xilitol fueron $356,60 \pm 131 \text{ J.Kg.mol}^{-2}$, $71,81 \pm 39 \text{ J.Kg.mol}^{-2}$, respectivamente, estos valores son positivos lo cual evidencia que la contribución energética para la interacción entre dos moléculas de estos solutos es de carácter endotérmico, debidas al efecto combinado de la deshidratación parcial de las capas de solvatación y la interacción de las cadenas apolares en presencia de agua.

Finalmente, los valores determinados para los coeficientes heterotácticos de interacción entálpico entre las mezclas de α -aminoácidos con polioles como meso eritritol y xilitol, son positivos, indicando que la contribución neta para la interacción de una molécula hidratada de α -alanina o ácido α -aminobutirico con una molécula hidratada de meso eritritol ó xilitol es de carácter endotérmico, excepto la glicina cuyo valor de coeficiente heterotáctico con los polioles es negativo, indicando que la contribución a las interacciones es de carácter exotérmico.

Recomendaciones

Determinar otras propiedades termodinámicas tales como tensión superficial a varias temperaturas, con el fin de profundizar más en las interacciones que se llevan a cabo en estos sistemas ternarios y aclarar un poco más el papel que juegan los aminoácidos sobre la estructura del agua en presencia de los polioles.

Estudiar el efecto de la temperatura sobre las propiedades termodinámicas en un rango más amplio del considerado en este trabajo, considerando en particular temperaturas bajas donde los efectos estructurales son más notorios con el fin de ampliar la información termodinámica obtenida y poder tener una visión más clara sobre el efecto de los polioles sobre las interacciones aminoácido-agua.

Extender el estudio del comportamiento de aminoácidos en mezclas poliol-agua, incluyendo α,ω -aminoácidos, los cuales presentan diferencias notorias en su comportamiento termodinámico frente al observado con α -aminoácidos.

Anexos

Anexo A. Valores de densidad y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en las mezclas de meso eritritol- agua y xilitol-agua a 293,15 K, 298,15 K, 303,15 K, 308,15 K y 313,15 K.

Tabla A1. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla meso-eritritol agua a 293,15 K.

meso eritritol 0,25054 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,74795 mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,006763	40,21	0,00000	1,023031	41,45
0,25289	1,015109	41,66	0,24300	1,030572	43,41
0,49489	1,022401	42,73	0,48712	1,037678	44,02
0,75099	1,029557	43,63	0,74470	1,044506	44,88
1,00772	1,036621	44,03	0,99624	1,050717	45,59
meso eritritol 0,49990 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99734 mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,015382	41,19	0,00000	1,030401	42,37
0,24823	1,023325	42,56	0,25287	1,038017	44,16
0,50004	1,030736	43,49	0,48875	1,044668	44,74
0,74641	1,037423	44,33	0,75070	1,051377	45,61
1,07826	1,046050	44,99	0,99785	1,057252	46,30
meso eritritol 0,25315 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,75015 mol·kg ⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,007019	58,76	0,00000	1,023031	59,67
0,25028	1,014130	60,03	0,24595	1,029771	60,50
0,49683	1,020818	60,25	0,50273	1,036438	60,81

0,74678	1,027267	60,52	0,75144	1,042557	61,09
0,95294	1,032313	60,77	0,99908	1,048372	61,33
meso eritritol 0,50045 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99746 mol·kg⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,015302	59,45	0,00000	1,030401	59,94
0,24728	1,022197	60,29	0,25274	1,037203	60,71
0,48557	1,028536	60,52	0,50063	1,043543	60,96
0,74972	1,035250	60,74	0,74476	1,049452	61,24
0,98378	1,040871	61,00	0,99950	1,055298	61,51
meso eritritol 0,24926 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74628 mol·kg⁻¹		
ácido	ρ	V ϕ	ácido	ρ	V ϕ
α -aminobutírico	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	α -aminobutírico	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
m (mol·kg ⁻¹)			m (mol·kg ⁻¹)		
0,00000	1,006946	72,10	0,00000	1,022929	73,01
0,24426	1,013838	74,02	0,24562	1,029447	74,91
0,49705	1,020421	74,61	0,49916	1,035682	75,39
0,74688	1,026435	75,16	0,74812	1,041406	75,78
0,98005	1,031624	75,66	1,02186	1,047279	76,16
meso eritritol 0,50616 mol·kg⁻¹			meso eritritol 1,00081 mol·kg⁻¹		
ácido	ρ	V ϕ	ácido	ρ	V ϕ
α -aminobutírico	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	α -aminobutírico	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
m (mol·kg ⁻¹)			m (mol·kg ⁻¹)		
0,00000	1,015482	72,85	0,00000	1,030941	73,65
0,24565	1,022186	74,53	0,24399	1,037237	75,23
0,49086	1,028425	74,96	0,49922	1,043359	75,65
0,75138	1,034606	75,39	0,73691	1,048706	75,98
1,04607	1,040996	75,93	1,00428	1,054266	76,39
meso eritritol 0,24981 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74819 mol·kg⁻¹		
norvalina	ρ	V ϕ	norvalina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)

0,00000	1,006578	87,26	0,00000	1,023020	88,78
0,12508	1,009923	89,69	0,12484	1,026119	90,52
0,25006	1,013102	90,05	0,24978	1,029065	90,85
0,37491	1,016098	90,47	0,37573	1,031855	91,26
0,49471	1,018827	90,84	0,50076	1,034486	91,61
meso eritritol 0,49899 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99998 mol·kg⁻¹		
norvalina	ρ	$V\phi$	norvalina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,013857	88,16	0,00000	1,030937	89,28
0,12548	1,017099	90,12	0,12359	1,033881	90,96
0,24977	1,020162	90,43	0,24992	1,036751	91,23
0,37473	1,023070	90,81	0,37426	1,039401	91,61
0,50004	1,025855	91,13	0,50054	1,041997	91,86
meso eritritol 0,24964 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,75233 mol·kg⁻¹		
norleucina	ρ	$V\phi$	norleucina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,006905	96,34	0,00000	1,023276	99,65
0,01055	1,007246	98,75	0,01053	1,023571	101,40
0,02067	1,007530	100,38	0,02122	1,023842	102,64
0,03121	1,007800	101,88	0,03073	1,024050	104,04
0,04241	1,008074	102,95	0,04243	1,024298	105,08
meso eritritol 0,49959 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99875 mol·kg⁻¹		
norleucina	ρ	$V\phi$	norleucina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,015191	97,97	0,00000	1,030772	99,86
0,01082	1,015519	99,43	0,01026	1,031039	102,76
0,02106	1,015800	101,10	0,02109	1,031279	104,55
0,03154	1,016046	102,80	0,03143	1,031498	105,44
0,04234	1,016288	103,94	0,04240	1,031732	105,83

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

Tabla A2. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla xilitol- agua a 293,15 K

xilitol 0,25000 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,75012 mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,010215	41,67	0,00000	1,032452	43,56
0,24468	1,018045	42,62	0,23895	1,039596	44,35
0,49141	1,025349	43,48	0,49729	1,046892	44,84
0,74456	1,032190	44,42	0,74627	1,053395	45,46
1,02304	1,039539	44,92	0,99953	1,059690	45,93
xilitol 0,49988 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99989 mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,021729	42,10	0,00000	1,043437	43,95
0,24735	1,029373	43,54	0,24360	1,050546	44,84
0,49802	1,036581	44,26	0,48997	1,057279	45,40
0,74640	1,043218	44,95	0,73776	1,063580	45,98
1,00361	1,049878	45,36	0,98347	1,069574	46,37
xilitol 0,25000 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,75012 mol·kg ⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,010215	63,11	0,00000	1,032452	64,44
0,24476	1,016038	64,51	0,23676	1,037707	65,14
0,50134	1,021767	64,87	0,49120	1,043037	65,40
0,74769	1,026985	65,13	0,73562	1,047891	65,62
0,96814	1,031363	65,42	0,99375	1,052675	65,91
xilitol 0,49988 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99989 mol·kg ⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,021729	63,67	0,00000	1,043437	64,86
0,24628	1,027385	64,84	0,23794	1,048522	65,43

0,48909	1,032654	65,10	0,49012	1,053571	65,75
0,72516	1,037502	65,35	0,71439	1,057820	65,98
0,98692	1,042545	65,65	0,99121	1,062802	66,21
xilitol 0,25187 mol·kg⁻¹			xilitol 0,74787 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,005847	73,78	0,00000	1,032944	74,56
0,24846	1,012527	75,39	0,24300	1,039004	75,95
0,48732	1,018592	75,65	0,49608	1,044907	76,29
0,74719	1,024772	76,00	0,73213	1,050073	76,58
0,98799	1,030148	76,31	1,01616	1,055942	76,85
xilitol 0,49907 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99524 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,021297	74,04	0,00000	1,043603	75,34
0,24198	1,027550	75,67	0,24420	1,049487	76,20
0,47493	1,033221	75,95	0,48309	1,054873	76,51
0,73542	1,039182	76,26	0,74996	1,060487	76,84
1,00239	1,044960	76,51	0,99248	1,065271	77,11
xilitol 0,25079 mol·kg⁻¹			xilitol 0,75397 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,010546	90,10	0,00000	1,033323	91,23
0,11863	1,013474	91,49	0,13720	1,036430	91,89
0,25052	1,016644	91,54	0,25551	1,039038	91,92
0,37815	1,019624	91,60	0,38271	1,041773	91,94
0,49820	1,022349	91,66	0,49988	1,044218	91,99
xilitol 0,50193 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99941 mol·kg⁻¹		
norvalina	<i>p</i>	Vφ	norvalina	<i>p</i>	Vφ

m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,022277	90,86	0,00000	1,043883	91,56
0,12689	1,025279	91,69	0,12540	1,046610	92,02
0,25010	1,028120	91,72	0,22481	1,048721	92,05
0,37592	1,030939	91,77	0,38218	1,051971	92,09
0,50021	1,033654	91,81	0,48909	1,054120	92,11
xilitol 0,25002 mol·kg⁻¹			xilitol 0,74497 mol·kg⁻¹		
norleucina	ρ	V ϕ	norleucina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,010579	101,56	0,00000	1,032926	105,56
0,01032	1,010856	103,45	0,01058	1,033146	107,45
0,02100	1,011089	105,94	0,02099	1,033315	109,58
0,03139	1,011284	107,74	0,03168	1,033465	110,97
0,04212	1,011436	109,78	0,04180	1,033556	112,78
xilitol 0,50379 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99901 mol·kg⁻¹		
norleucina	ρ	V ϕ	norleucina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,022366	102,45	0,00000	1,043444	106,78
0,01060	1,022617	105,60	0,01020	1,043626	109,27
0,02114	1,022814	107,96	0,02095	1,043775	111,16
0,03191	1,022995	109,37	0,03140	1,043883	112,81
0,04334	1,023115	111,67	0,04130	1,043975	113,83

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

Tabla A3. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla meso-eritritol agua a 298,15 K

meso eritritol 0,25054 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74795 mol·kg⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,005558	40,17	0,00000	1,021681	41,54

0,25289	1,013758	42,24	0,25289	1,029339	44,14
0,50118	1,021085	43,35	0,48712	1,035875	44,94
0,74623	1,027842	44,14	0,74470	1,042729	45,46
1,00819	1,034732	44,74	0,99624	1,048748	46,22
meso eritritol 0,49990 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99734 mol·kg⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,014102	40,65	0,00000	1,028988	43,56
0,24823	1,021858	43,31	0,25289	1,036462	44,72
0,50004	1,029181	44,05	0,48875	1,042966	45,33
0,74641	1,035697	44,94	0,75070	1,049633	46,06
1,07826	1,044274	45,46	0,99785	1,055349	46,81
meso eritritol 0,25315 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,75015 mol·kg⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,005809	59,11	0,00000	1,021681	59,87
0,25028	1,012868	60,27	0,24595	1,028356	60,80
0,49683	1,019519	60,47	0,50273	1,034970	61,08
0,74678	1,025918	60,74	0,75144	1,041031	61,37
0,95294	1,030933	60,99	0,99908	1,046811	61,59
meso eritritol 0,50045 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99746 mol·kg⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,014050	59,76	0,00000	1,028988	60,16
0,24728	1,020901	60,50	0,25274	1,035700	61,10
0,48557	1,027173	60,79	0,50063	1,041982	61,29
0,74972	1,033838	61,00	0,74476	1,047828	61,56
0,98378	1,039384	61,28	0,99950	1,053639	61,81
meso eritritol 0,24926 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74628 mol·kg⁻¹		
ácido	ρ	V ϕ	ácido	ρ	V ϕ
α -aminobutírico	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	α -aminobutírico	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)

m (mol·kg ⁻¹)			m (mol·kg ⁻¹)		
0,00000	1,005713	72,45	0,00000	1,021557	73,69
0,24426	1,012489	74,55	0,24562	1,027992	75,30
0,49705	1,018971	75,11	0,49916	1,034182	75,71
0,74688	1,024911	75,62	0,74812	1,039815	76,14
0,98005	1,030138	75,99	1,02186	1,045644	76,49
meso eritritol 0,50616 mol·kg⁻¹			meso eritritol 1,00081 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,014184	73,47	0,00000	1,029500	74,27
0,24565	1,020807	74,92	0,24399	1,035737	75,53
0,49086	1,026975	75,33	0,49922	1,041788	75,98
0,75138	1,033086	75,75	0,73691	1,047070	76,31
1,04607	1,039487	76,20	1,00428	1,052593	76,69
meso eritritol 0,24981 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74819 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,005373	89,21	0,00000	1,021672	90,31
0,12508	1,008670	90,15	0,12484	1,024723	90,98
0,25006	1,011801	90,51	0,24978	1,027649	91,21
0,37491	1,014785	90,84	0,37573	1,030419	91,58
0,49471	1,017453	91,27	0,50076	1,033067	91,84
meso eritritol 0,49899 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99998 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,012590	89,76	0,00000	1,029523	90,94
0,12548	1,015786	90,57	0,12359	1,032424	91,39
0,24977	1,018812	90,84	0,24992	1,035241	91,69
0,37473	1,021705	91,15	0,37426	1,037871	92,00
0,50004	1,024469	91,45	0,50054	1,040459	92,20

meso eritritol 0,24964 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,75233 mol·kg ⁻¹		
norleucina	ρ	V ϕ	norleucina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,005674	98,34	0,00000	1,021896	100,56
0,01055	1,006009	99,82	0,01053	1,022183	102,18
0,02115	1,006295	101,31	0,02122	1,022443	103,62
0,03199	1,006549	103,28	0,03073	1,022644	104,95
0,04230	1,006791	104,21	0,04243	1,022899	105,62
meso eritritol 0,49959 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99875 mol·kg ⁻¹		
norleucina	ρ	V ϕ	norleucina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,013889	99,54	0,00000	1,029354	102,67
0,01082	1,014213	100,83	0,01026	1,029608	104,04
0,02106	1,014476	102,18	0,02109	1,029850	105,19
0,03154	1,014710	103,97	0,03143	1,030057	106,25
0,04234	1,014954	104,77	0,04240	1,030281	106,68

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

Tabla A4. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla xilitol-agua a 298,15 K

xilitol 0,25000 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,75012 mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,008957	42,56	0,00000	1,030989	43,67
0,24468	1,016622	43,30	0,23895	1,037994	44,93
0,49141	1,023802	44,08	0,49729	1,045083	45,53
0,74456	1,030550	44,95	0,74627	1,051599	45,91
1,02304	1,037634	45,57	0,99953	1,057889	46,29
xilitol 0,49988 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99989 mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ

m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,020366	43,35	0,00000	1,041868	44,24
0,24735	1,027824	44,29	0,24360	1,048797	45,55
0,49802	1,034929	44,85	0,48997	1,055381	46,05
0,74640	1,041517	45,41	0,73776	1,061641	46,48
1,00361	1,047972	45,91	0,99000	1,067767	46,79
xilitol 0,25000 mol·kg⁻¹			xilitol 0,75012 mol·kg⁻¹		
α-alanina	<i>p</i>	Vφ	α-alanina	<i>p</i>	Vφ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,008957	62,64	0,00000	1,030989	64,23
0,24476	1,014742	64,71	0,23676	1,036193	65,41
0,50134	1,020445	65,05	0,49120	1,041491	65,63
0,74769	1,025604	65,35	0,73562	1,046222	65,96
0,96814	1,029978	65,60	0,99375	1,050947	66,24
xilitol 0,49988 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99989 mol·kg⁻¹		
α-alanina	<i>p</i>	Vφ	α-alanina	<i>p</i>	Vφ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,020366	63,76	0,00000	1,041868	64,87
0,24628	1,025985	65,04	0,23794	1,046925	65,61
0,48909	1,031194	65,36	0,49012	1,051963	65,90
0,72516	1,036003	65,60	0,71439	1,056162	66,17
0,98692	1,041087	65,81	0,99121	1,061031	66,48
xilitol 0,25187 mol·kg⁻¹			xilitol 0,74787 mol·kg⁻¹		
ácido	<i>p</i>	Vφ	ácido	<i>p</i>	Vφ
α-aminobutírico	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	α-aminobutírico	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
m (mol·kg ⁻¹)			m (mol·kg ⁻¹)		
0,00000	1,004611	74,23	0,00000	1,031456	75,03
0,24846	1,011269	75,53	0,24300	1,037488	76,14
0,48732	1,017275	75,88	0,49608	1,043361	76,48
0,74719	1,023430	76,20	0,73213	1,048513	76,75
0,98799	1,028802	76,48	1,01616	1,054347	77,03

xilitol 0,49907 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99524 mol·kg ⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,020048	74,65	0,00000	1,042132	75,89
0,24198	1,026267	75,87	0,24420	1,047964	76,48
0,47493	1,031908	76,15	0,48309	1,053316	76,75
0,73542	1,037832	76,46	0,74996	1,058897	77,07
1,00239	1,043561	76,72	0,99248	1,063615	77,37
xilitol 0,25079 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,75397 mol·kg ⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,009294	90,12	0,00000	1,031856	90,92
0,11863	1,012214	91,64	0,13720	1,034945	92,11
0,25052	1,015374	91,70	0,25551	1,037532	92,16
0,37815	1,018350	91,74	0,38271	1,040234	92,23
0,49820	1,021082	91,77	0,49988	1,042643	92,30
xilitol 0,50193 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99941 mol·kg ⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,020914	90,56	0,00000	1,042267	91,56
0,12689	1,023900	91,90	0,12540	1,044974	92,29
0,25010	1,026718	91,96	0,22481	1,047066	92,32
0,37592	1,029516	92,02	0,38218	1,050275	92,40
0,50021	1,032207	92,07	0,48909	1,052378	92,47
xilitol 0,25002 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,74497 mol·kg ⁻¹		
norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,009303	101,76	0,00000	1,031445	104,89
0,01032	1,009557	105,73	0,01058	1,031650	108,94

0,02100	1,009781	107,56	0,02099	1,031811	110,74
0,03139	1,009974	108,89	0,03168	1,031949	112,15
0,04212	1,010115	110,94	0,04180	1,032031	113,92
xilitol 0,50379 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99901 mol·kg ⁻¹		
norleucina	ρ	$V\phi$	norleucina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,020977	102,34	0,00000	1,041869	106,45
0,01060	1,021216	106,82	0,01020	1,042035	110,85
0,02114	1,021409	108,83	0,02095	1,042167	112,77
0,03191	1,021577	110,36	0,03140	1,042279	113,81
0,04334	1,021694	112,52	0,04130	1,042348	115,15

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

Tabla A5. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla meso-eritritol agua a 303,15 K

meso eritritol 0,25054mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,74795mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	$V\phi$	glicina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,004113	41,47	0,00000	1,020113	42,78
0,25289	1,012130	42,98	0,24300	1,027275	44,95
0,49822	1,019249	43,97	0,48712	1,034082	45,41
0,74672	1,025935	44,80	0,74470	1,040832	45,92
1,00952	1,032769	45,32	0,99624	1,046756	46,67
meso eritritol 0,49990mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99734mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	$V\phi$	glicina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,012592	42,53	0,00000	1,027364	43,85
0,24823	1,020143	44,14	0,25287	1,034641	45,48
0,50004	1,027251	44,90	0,48875	1,040913	46,20
0,74641	1,033747	45,54	0,75070	1,047498	46,74

1,07826	1,041890	46,30	0,99785	1,053043	47,50
meso eritritol 0,25315 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,75015 mol·kg⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,004364	59,37	0,00000	1,020113	60,32
0,25028	1,011374	60,51	0,24595	1,026710	61,16
0,49683	1,017984	60,70	0,50273	1,033247	61,44
0,74678	1,024343	60,97	0,75144	1,039301	61,64
0,95294	1,029321	61,22	0,99908	1,044995	61,89
meso eritritol 0,50045 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99746 mol·kg⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,012542	59,95	0,00000	1,027364	60,84
0,24728	1,019331	60,80	0,25274	1,033999	61,45
0,48557	1,025556	61,06	0,50063	1,040176	61,70
0,74972	1,032168	61,27	0,74476	1,046007	61,88
0,98378	1,037640	61,58	0,99950	1,051758	62,12
meso eritritol 0,24926 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74628 mol·kg⁻¹		
ácido			ácido		
α -aminobutírico	ρ	V ϕ	α -aminobutírico	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,004253	74,17	0,00000	1,019970	75,04
0,24426	1,010911	75,10	0,24562	1,026327	75,69
0,49705	1,017321	75,57	0,49916	1,032494	75,99
0,74688	1,023260	75,95	0,74812	1,038107	76,38
0,98005	1,028447	76,31	1,02186	1,043899	76,73
meso eritritol 0,50616 mol·kg⁻¹			meso eritritol 1,00081 mol·kg⁻¹		
ácido			ácido		
α -aminobutírico	ρ	V ϕ	α -aminobutírico	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)

0,00000	1,012651	74,87	0,00000	1,027854	75,73
0,24565	1,019207	75,26	0,24399	1,033987	76,02
0,49086	1,025267	75,76	0,49922	1,039984	76,37
0,75138	1,031328	76,13	0,73691	1,045261	76,61
1,04607	1,037679	76,55	1,00428	1,050817	76,91
meso eritritol 0,24981 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74819 mol·kg⁻¹		
norvalina	ρ	V ϕ	norvalina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,003930	89,21	0,00000	1,020105	90,56
0,12508	1,007177	90,64	0,12484	1,023119	91,37
0,25006	1,010251	91,04	0,24978	1,025997	91,64
0,37491	1,013154	91,44	0,37573	1,028768	91,91
0,49471	1,015846	91,70	0,50076	1,031367	92,21
meso eritritol 0,49899 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99998 mol·kg⁻¹		
norvalina	ρ	V ϕ	norvalina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,011092	89,97	0,00000	1,027894	90,92
0,12548	1,014252	90,94	0,12359	1,030755	91,81
0,24977	1,017220	91,31	0,24992	1,033532	92,11
0,37473	1,020046	91,68	0,37426	1,036153	92,34
0,50004	1,022772	91,95	0,50054	1,038662	92,64
meso eritritol 0,24964 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,75233 mol·kg⁻¹		
norleucina	ρ	V ϕ	norleucina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,004210	99,38	0,00000	1,020308	101,49
0,01055	1,004519	101,51	0,01053	1,020583	103,47
0,02115	1,004795	103,12	0,02122	1,020834	104,68
0,03199	1,005042	104,73	0,03073	1,021035	105,74
0,04230	1,005265	105,78	0,04243	1,021260	106,89
meso eritritol 0,49959 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99875 mol·kg⁻¹		
norleucina	ρ	V ϕ	norleucina	ρ	V ϕ

m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,012362	100,48	0,00000	1,027712	102,84
0,01082	1,012666	102,09	0,01026	1,027959	104,79
0,02106	1,012922	103,55	0,02109	1,028194	105,94
0,03154	1,013151	105,06	0,03143	1,028397	106,92
0,04234	1,013374	106,14	0,04240	1,028601	107,68

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

Tabla A6. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla xilitol agua a 303,15 K

xilitol 0,25000mol·kg ⁻¹			xilitol 0,75012mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,007476	43,28	0,00000	1,029320	44,38
0,24468	1,014876	44,39	0,23895	1,036113	45,80
0,49141	1,021858	45,04	0,49729	1,043085	46,19
0,74456	1,028598	45,61	0,74627	1,049467	46,54
1,02304	1,035622	46,12	0,99953	1,055587	46,93
xilitol 0,49988mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99989mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,018787	43,87	0,00000	1,040110	45,84
0,24735	1,026075	44,98	0,24360	1,046817	46,43
0,49802	1,033027	45,50	0,48997	1,053280	46,74
0,74640	1,039540	45,96	0,73776	1,059451	47,07
1,00361	1,045868	46,45	0,99000	1,065421	47,39
xilitol 0,25000mol·kg ⁻¹			xilitol 0,75012mol·kg ⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,007476	63,93	0,00000	1,029320	64,93

0,24476	1,013205	65,00	0,23676	1,034486	65,63
0,50134	1,018885	65,27	0,49120	1,039751	65,84
0,74769	1,024010	65,57	0,73562	1,044463	66,15
0,96814	1,028346	65,83	0,99375	1,049190	66,40
xilitol 0,49988 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99989 mol·kg⁻¹		
α -alanina	ρ	$V\phi$	α -alanina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,018787	64,28	0,00000	1,040110	65,19
0,24628	1,024366	65,26	0,23794	1,045125	65,85
0,48909	1,029557	65,54	0,49012	1,050151	66,08
0,72516	1,034338	65,78	0,71439	1,054329	66,35
0,98692	1,039367	66,02	0,99121	1,059149	66,68
xilitol 0,25187 mol·kg⁻¹			xilitol 0,74787 mol·kg⁻¹		
ácido			ácido		
α -aminobutírico	ρ	$V\phi$	α -aminobutírico	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,003151	72,04	0,00000	1,029766	74,93
0,24846	1,009765	75,78	0,24300	1,035766	76,35
0,48732	1,015744	76,10	0,49608	1,041613	76,68
0,74719	1,021862	76,43	0,73213	1,046755	76,93
0,98799	1,027173	76,74	1,01616	1,052547	77,23
xilitol 0,49907 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99524 mol·kg⁻¹		
ácido			ácido		
α -aminobutírico	ρ	$V\phi$	α -aminobutírico	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,018515	73,74	0,00000	1,040352	75,38
0,24198	1,024698	76,09	0,24420	1,046157	76,67
0,47493	1,030302	76,38	0,48309	1,051476	76,97
0,73542	1,036187	76,69	0,74996	1,057049	77,25
1,00239	1,041864	76,97	0,99248	1,061718	77,58
xilitol 0,25079 mol·kg⁻¹			xilitol 0,75397 mol·kg⁻¹		

norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,007811	89,48	0,00000	1,030179	91,74
0,11863	1,010713	91,89	0,13720	1,033257	92,30
0,25052	1,013849	91,96	0,25551	1,035826	92,39
0,37815	1,016792	92,04	0,38271	1,038495	92,50
0,49820	1,019455	92,17	0,49988	1,040866	92,61
xilitol 0,50193 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99941 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,019329	90,94	0,00000	1,040505	91,93
0,12689	1,022303	92,10	0,12540	1,043199	92,50
0,25010	1,025104	92,18	0,22481	1,045266	92,60
0,37592	1,027872	92,28	0,38218	1,048433	92,72
0,50021	1,030503	92,42	0,48909	1,050508	92,81
xilitol 0,25002 mol·kg⁻¹			xilitol 0,74497 mol·kg⁻¹		
norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,007798	105,38	0,00000	1,029759	107,37
0,01032	1,008036	107,38	0,01058	1,029957	109,73
0,02100	1,008249	108,95	0,02099	1,030100	112,02
0,03139	1,008430	110,26	0,03168	1,030213	113,82
0,04212	1,008556	112,35	0,04180	1,030301	115,09
xilitol 0,50379 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99901 mol·kg⁻¹		
norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,019374	106,39	0,00000	1,040089	109,57
0,01060	1,019597	108,36	0,01020	1,040251	111,40
0,02114	1,019772	110,51	0,02095	1,040364	113,92
0,03191	1,019928	111,89	0,03140	1,040443	115,65
0,04334	1,020037	113,87	0,04130	1,040502	116,81

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = $0,1 \text{ cm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ - $0,7 \text{ cm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$

Tabla A7. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla meso-eritritol agua a 308,15 K

meso eritritol 0,25054mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,74795mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,002457	41,36	0,00000	1,018348	44,28
0,25289	1,010298	43,69	0,24300	1,025351	45,61
0,49911	1,017276	44,68	0,48712	1,031936	46,20
0,74764	1,023964	45,29	0,74470	1,038497	46,70
1,00848	1,030573	45,86	0,99624	1,044372	47,32
meso eritritol 0,49990mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99734mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,010878	42,84	0,00000	1,025551	44,79
0,24823	1,018324	44,58	0,25287	1,032621	46,30
0,50004	1,025350	45,29	0,48875	1,038765	46,89
0,74641	1,031749	45,95	0,75070	1,045011	47,65
1,07826	1,039632	46,83	0,99785	1,050640	48,12
meso eritritol 0,25315mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,75015mol·kg ⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,002707	59,02	0,00000	1,018348	60,74
0,25028	1,009663	60,78	0,24595	1,024897	61,41
0,49683	1,016244	60,93	0,50273	1,031388	61,68
0,74678	1,022567	61,19	0,75144	1,037384	61,90
0,95294	1,027561	61,39	0,99908	1,043084	62,10
meso eritritol 0,50045 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99746 mol·kg ⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)

0,00000	1,010821	50,94	0,00000	1,025551	61,02
0,24728	1,017547	61,11	0,25274	1,032115	61,78
0,48557	1,023745	61,30	0,50063	1,038243	62,00
0,74972	1,030295	61,53	0,74476	1,043965	62,25
0,98378	1,035853	61,71	0,99950	1,049711	62,42
meso eritritol 0,24926 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74628 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,002575	74,37	0,00000	1,018188	75,17
0,24426	1,009167	75,45	0,24562	1,024485	76,02
0,49705	1,015520	75,91	0,49916	1,030602	76,30
0,74688	1,021408	76,28	0,74812	1,036211	76,63
0,98005	1,026552	76,62	1,02186	1,042045	76,90
meso eritritol 0,50616 mol·kg⁻¹			meso eritritol 1,00081 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,010920	74,89	0,00000	1,026017	75,87
0,24565	1,017373	75,76	0,24399	1,032102	76,30
0,49086	1,023404	76,12	0,49922	1,038067	76,62
0,75138	1,029447	76,42	0,73691	1,043287	76,89
1,04607	1,035771	76,81	1,00428	1,048794	77,19
meso eritritol 0,24981 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74819 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,002275	89,37	0,00000	1,018340	90,93
0,12508	1,005476	91,12	0,12484	1,021320	91,75
0,25006	1,008502	91,53	0,24978	1,024147	92,10
0,37491	1,011381	91,87	0,37573	1,026875	92,36
0,49471	1,014004	92,20	0,50076	1,029466	92,60

meso eritritol 0,49899 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99998 mol·kg ⁻¹		
norvalina	ρ	$V\phi$	norvalina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,009388	90,47	0,00000	1,026075	91,38
0,12548	1,012511	91,35	0,12359	1,028918	92,07
0,24977	1,015434	91,75	0,24992	1,031678	92,38
0,37473	1,018246	92,05	0,37426	1,034257	92,67
0,50004	1,020919	92,37	0,50054	1,036772	92,91
meso eritritol 0,24964 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,75233 mol·kg ⁻¹		
norleucina	ρ	$V\phi$	norleucina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,002534	100,37	0,00000	1,018522	102,74
0,01055	1,002836	102,29	0,01053	1,018786	104,59
0,02115	1,003099	104,18	0,02122	1,019030	105,65
0,03199	1,003349	105,41	0,03073	1,019216	106,93
0,04230	1,003564	106,49	0,04243	1,019438	107,87
meso eritritol 0,49959 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99875 mol·kg ⁻¹		
norleucina	ρ	$V\phi$	norleucina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,010635	101,73	0,00000	1,025880	103,93
0,01082	1,010927	103,30	0,01026	1,026120	105,62
0,02106	1,011173	104,73	0,02109	1,026350	106,65
0,03154	1,011390	106,26	0,03143	1,026547	107,62
0,04234	1,011609	107,15	0,04240	1,026746	108,35

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

Tabla A8. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla xilitol agua a 308,15 K

xilitol 0,25000mol·kg ⁻¹			xilitol 0,75012mol·kg ⁻¹		
glicina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	glicina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,005786	44,38	0,00000	1,027462	45,23
0,24468	1,013004	45,15	0,23895	1,034150	46,25
0,49141	1,019864	45,68	0,49729	1,040974	46,71
0,74456	1,026530	46,15	0,74627	1,047116	47,21
1,02304	1,033480	46,60	0,99953	1,053085	47,59
xilitol 0,49988mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99989mol·kg ⁻¹		
glicina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	glicina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,017010	44,94	0,00000	1,038174	45,74
0,24735	1,024152	45,58	0,24360	1,044789	46,82
0,49802	1,030977	46,07	0,48997	1,051084	47,28
0,74640	1,037290	46,62	0,73776	1,057046	47,71
1,00361	1,043534	47,04	0,99000	1,062895	48,00
xilitol 0,25000mol·kg ⁻¹			xilitol 0,75012mol·kg ⁻¹		
α -alanina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	α -alanina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,005786	63,28	0,00000	1,027462	64,58
0,24476	1,011494	65,15	0,23676	1,032603	65,81
0,50134	1,017151	65,43	0,49120	1,037801	66,11
0,74769	1,022270	65,71	0,73562	1,042504	66,37
0,96814	1,026544	66,02	0,99375	1,047231	66,58
xilitol 0,49988 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99989 mol·kg ⁻¹		
α -alanina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	α -alanina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,017010	63,97	0,00000	1,038174	65,64
0,24628	1,022561	65,45	0,23794	1,043166	66,03

0,48909	1,027723	65,73	0,49012	1,048152	66,29
0,72516	1,032487	65,96	0,71439	1,052334	66,52
0,98692	1,037451	66,24	0,99121	1,057160	66,80
xilitol 0,25187 mol·kg⁻¹			xilitol 0,74787 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,001475	75,19	0,00000	1,027888	75,91
0,24846	1,008052	76,02	0,24300	1,033868	76,53
0,48732	1,013996	76,34	0,49608	1,039714	76,82
0,74719	1,020088	76,65	0,73213	1,044806	77,12
0,98799	1,025426	76,90	1,01616	1,050548	77,45
xilitol 0,49907 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99524 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,016755	75,67	0,00000	1,038364	75,58
0,24198	1,022918	76,26	0,24420	1,044158	76,82
0,47493	1,028501	76,55	0,48309	1,049466	77,11
0,73542	1,034384	76,84	0,74996	1,054999	77,44
1,00239	1,040025	77,14	0,99248	1,059622	77,79
xilitol 0,25079 mol·kg⁻¹			xilitol 0,75397 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,006119	91,37	0,00000	1,028317	92,04
0,11863	1,009005	92,14	0,13720	1,031382	92,52
0,25052	1,012127	92,20	0,25551	1,033946	92,58
0,37815	1,015051	92,28	0,38271	1,036608	92,69
0,49820	1,017720	92,37	0,49988	1,038985	92,78
xilitol 0,50193 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99941 mol·kg⁻¹		
norvalina	ρ	V ϕ	norvalina	ρ	V ϕ

m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,017550	91,95	0,00000	1,038516	92,51
0,12689	1,020514	92,30	0,12540	1,041200	92,72
0,25010	1,023300	92,40	0,22481	1,043260	92,82
0,37592	1,026060	92,49	0,38218	1,046428	92,90
0,50021	1,028698	92,59	0,48909	1,048505	92,97

xilitol 0,25002 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,74497 mol·kg ⁻¹		
norleucina	ρ	V ϕ	norleucina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,006088	106,81	0,00000	1,027879	109,37
0,01032	1,006310	109,06	0,01058	1,028063	111,16
0,02100	1,006511	110,42	0,02099	1,028203	112,97
0,03139	1,006689	111,38	0,03168	1,028321	114,36
0,04212	1,006806	113,45	0,04180	1,028411	115,49

xilitol 0,50379 mol·kg ⁻¹			xilitol 0,99901 mol·kg ⁻¹		
norleucina	ρ	V ϕ	norleucina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,017572	107,93	0,00000	1,038132	110,72
0,01060	1,017780	109,92	0,01020	1,038286	112,33
0,02114	1,017946	111,77	0,02095	1,038406	114,17
0,03191	1,018090	113,18	0,03140	1,038500	115,42
0,04334	1,018193	114,98	0,04130	1,038566	116,55

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

Tabla A9. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla meso-eritritol agua a 313,15 K

meso eritritol 0,25054 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,74795 mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,000608	42,18	0,00000	1,016400	45,38
0,25289	1,008266	44,44	0,24300	1,023228	46,35
0,49773	1,015042	45,41	0,48712	1,029641	46,94
0,75211	1,021766	45,96	0,74469	1,035911	47,58
1,01444	1,028306	46,47	0,99623	1,041646	48,13
meso eritritol 0,49990 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99734 mol·kg ⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,008974	43,74	0,00000	1,023558	46,64
0,24823	1,016275	45,19	0,25287	1,030447	47,02
0,50003	1,023148	45,91	0,48875	1,036332	47,80
0,74641	1,029526	46,41	0,75069	1,042536	48,32
1,07826	1,037317	47,25	0,99784	1,047848	48,95
meso eritritol 0,25315 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,75015 mol·kg ⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,000854	60,18	0,00000	1,016400	61,05
0,25028	1,007758	61,05	0,24595	1,022870	61,80
0,49683	1,014279	61,22	0,50273	1,029341	61,95
0,74678	1,020592	61,42	0,75144	1,035295	62,16
0,95294	1,025529	61,64	0,99908	1,040937	62,37
meso eritritol 0,50045 mol·kg ⁻¹			meso eritritol 0,99746 mol·kg ⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,008926	60,89	0,00000	1,023558	61,31
0,24728	1,015595	61,40	0,25274	1,030054	62,11

0,48557	1,021741	61,59	0,50063	1,036123	62,32
0,74972	1,028279	61,76	0,74476	1,041832	62,50
0,98378	1,033746	61,99	0,99950	1,047485	62,72
meso eritritol 0,24926 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74628 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,000708	74,19	0,00000	1,016220	75,79
0,24426	1,007222	75,86	0,24562	1,022462	76,34
0,49705	1,013523	76,26	0,49916	1,028531	76,60
0,74688	1,019316	76,68	0,74812	1,034111	76,90
0,98005	1,024425	77,00	1,02186	1,039909	77,17
meso eritritol 0,50616 mol·kg⁻¹			meso eritritol 1,00081 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,008956	75,36	0,00000	1,024003	76,04
0,24565	1,015341	76,13	0,24399	1,030047	76,57
0,49086	1,021327	76,45	0,49922	1,035962	76,90
0,75138	1,027274	76,80	0,73691	1,041127	77,19
1,04607	1,033625	77,09	1,00428	1,046628	77,45
meso eritritol 0,24981 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,74819 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,000425	90,84	0,00000	1,016391	91,86
0,12508	1,003559	91,78	0,12484	1,019325	92,24
0,25006	1,006535	92,13	0,24978	1,022113	92,56
0,37491	1,009395	92,37	0,37573	1,024791	92,85
0,49471	1,011978	92,70	0,50076	1,027295	93,18
meso eritritol 0,49899 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99998 mol·kg⁻¹		

norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,007494	91,07	0,00000	1,024078	92,05
0,12548	1,010554	91,98	0,12359	1,026895	92,41
0,24977	1,013418	92,37	0,24992	1,029629	92,72
0,37473	1,016177	92,65	0,37426	1,032166	93,05
0,50004	1,018778	93,00	0,50054	1,034647	93,30
meso eritritol 0,24964 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,75233 mol·kg⁻¹		
norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,000668	101,67	0,00000	1,016559	104,31
0,01055	1,000957	103,65	0,01053	1,016818	105,21
0,02115	1,001212	105,34	0,02122	1,017054	106,39
0,03199	1,001458	106,32	0,03073	1,017239	107,54
0,04230	1,001669	107,34	0,04243	1,017457	108,44
meso eritritol 0,49959 mol·kg⁻¹			meso eritritol 0,99875 mol·kg⁻¹		
norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norleucina m (mol·kg ⁻¹)	ρ (g·cm ⁻³)	V ϕ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,008715	103,61	0,00000	1,023869	105,08
0,01082	1,008996	104,47	0,01026	1,024103	106,35
0,02106	1,009233	105,80	0,02109	1,024328	107,31
0,03154	1,009455	106,89	0,03143	1,024518	108,35
0,04234	1,009668	107,81	0,04240	1,024716	108,97

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

Tabla A10. Densidades y volúmenes molares aparentes de α -aminoácidos en mezcla xilitol agua a 313,15 K

xilitol 0,25000 mol·kg⁻¹			xilitol 0,75012 mol·kg⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,003902	44,18	0,000000	1,025431	45,91
0,244677	1,010933	45,94	0,238954	1,031947	46,98
0,491411	1,017679	46,32	0,497291	1,038574	47,46
0,744564	1,024164	46,83	0,746275	1,044592	47,90
1,023045	1,030821	47,40	0,999525	1,050385	48,29
xilitol 0,49988 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99989 mol·kg⁻¹		
glicina	ρ	V ϕ	glicina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,000000	1,015052	45,68	0,000000	1,036074	46,37
0,247349	1,022036	46,24	0,243604	1,042548	47,40
0,498022	1,028689	46,75	0,489968	1,048682	47,90
0,746397	1,034841	47,30	0,737756	1,054603	48,20
1,003613	1,040860	47,78	0,990002	1,060228	48,60
xilitol 0,25000 mol·kg⁻¹			xilitol 0,75012 mol·kg⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,003902	64,68	0,00000	1,025431	65,37
0,24476	1,009583	65,34	0,23676	1,030523	66,10
0,50134	1,015200	65,64	0,49120	1,035717	66,30
0,74769	1,020300	65,91	0,73562	1,040382	66,58
0,96814	1,024552	66,22	0,99375	1,045049	66,83
xilitol 0,49988 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99989 mol·kg⁻¹		
α -alanina	ρ	V ϕ	α -alanina	ρ	V ϕ
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,015052	64,90	0,00000	1,036074	65,89
0,24628	1,020573	65,65	0,23794	1,041027	66,28
0,48909	1,025720	65,91	0,49012	1,045990	66,50
0,72516	1,030441	66,17	0,71439	1,050138	66,74

0,98692	1,035349	66,48	0,99121	1,054920	67,06
xilitol 0,25187 mol·kg⁻¹			xilitol 0,74787 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	0,999527	75,67	0,00000	1,025838	76,03
0,24846	1,006068	76,26	0,24300	1,031793	76,73
0,48732	1,011997	76,54	0,49608	1,037613	77,03
0,74719	1,018035	76,89	0,73213	1,042658	77,36
0,98799	1,023333	77,15	1,01616	1,048398	77,66
xilitol 0,49907 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99524 mol·kg⁻¹		
ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	ácido α-aminobutírico m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,014803	75,91	0,00000	1,036246	76,79
0,24198	1,020950	76,43	0,24420	1,042018	77,01
0,47493	1,026520	76,71	0,48309	1,047290	77,34
0,73542	1,032382	77,01	0,74996	1,052786	77,68
1,00239	1,037967	77,35	0,99248	1,057473	77,94
xilitol 0,25079 mol·kg⁻¹			xilitol 0,75397 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,004235	91,79	0,00000	1,026280	92,49
0,11863	1,007108	92,38	0,13720	1,029335	92,74
0,25052	1,010214	92,44	0,25551	1,031890	92,80
0,37815	1,013136	92,50	0,38271	1,034559	92,86
0,49820	1,015792	92,59	0,49988	1,036939	92,94
xilitol 0,50193 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99941 mol·kg⁻¹		
norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)	norvalina m (mol·kg ⁻¹)	<i>p</i> (g·cm ⁻³)	Vφ (cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,015587	92,06	0,00000	1,036463	92,75

0,12689	1,018542	92,50	0,12540	1,039140	92,92
0,25010	1,021333	92,55	0,22481	1,041202	92,98
0,37592	1,024098	92,62	0,38218	1,044367	93,07
0,50021	1,026745	92,71	0,48909	1,046462	93,10
xilitol 0,25002 mol·kg⁻¹			xilitol 0,74497 mol·kg⁻¹		
norleucina	ρ	$V\phi$	norleucina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,004181	108,49	0,00000	1,025827	110,64
0,01032	1,004396	109,94	0,01058	1,025999	112,37
0,02100	1,004586	111,45	0,02099	1,026135	113,88
0,03139	1,004739	112,92	0,03168	1,026240	115,41
0,04212	1,004873	114,25	0,04180	1,026326	116,46
xilitol 0,50379 mol·kg⁻¹			xilitol 0,99901 mol·kg⁻¹		
norleucina	ρ	$V\phi$	norleucina	ρ	$V\phi$
m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)	m (mol·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	(cm ³ ·mol ⁻¹)
0,00000	1,015573	109,94	0,00000	1,036011	112,36
0,01060	1,015765	111,55	0,01020	1,036148	114,09
0,02114	1,015929	112,76	0,02095	1,036261	115,48
0,03191	1,016065	114,16	0,03140	1,036339	116,84
0,04334	1,016187	115,35	0,04130	1,036408	117,60

Máxima incertidumbre en la molalidad = $\pm 1,0 \times 10^{-4}$ mol·kg⁻¹

Máxima incertidumbre en la densidad = $\pm 1,0 \times 10^{-6}$ g·cm⁻³.

Máxima incertidumbre en el volumen molar aparente = 0,1 cm³·mol⁻¹-0,7 cm³·mol⁻¹

T(K)	d (g·cm ⁻³)	U (m·s ⁻¹)	$\beta_s \times 10^{-10}$		Cp	$\beta_t \times 10^{-10}$
			(Pa ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}(\text{K}^{-1})$	(J·g ⁻¹ K ⁻¹)	(Pa ⁻¹)
293,15	1,030937	1530,12	4,14	2,07	5,78	4,16
298,15	1,029523	1541,88	4,09	2,57	5,89	4,10
303,15	1,027894	1552,09	4,04	3,03	6,01	4,06
308,15	1,026075	1560,75	4,00	3,46	6,13	4,02
313,15	1,024078	1567,96	3,97	3,85	6,26	3,99

Tabla B2. Compresibilidad adiabática y compresibilidad isotérmica para la mezcla xilitol agua.

xilitol 0,25002 mol·kg ⁻¹						
T(K)	d (g·(cm ³) ⁻¹)	U (m·s ⁻¹)	$\beta_s \times 10^{-10}$		Cp	$\beta_t \times 10^{-10}$
			(Pa ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}(\text{K}^{-1})$	(J·g ⁻¹ K ⁻¹)	(Pa ⁻¹)
293,15	1,010546	1501,13	4,39	2,07	5,78	4,41
298,15	1,009294	1511,3	4,34	2,57	5,89	4,36
303,15	1,007811	1523,01	4,28	3,03	6,01	4,30
308,15	1,006119	1533,04	4,23	3,46	6,13	4,25
313,15	1,004235	1541,63	4,19	3,85	6,26	4,21
xilitol 0,50379 mol·kg ⁻¹						
T(K)	d (g·(cm ³) ⁻¹)	U (m·s ⁻¹)	$\beta_s \times 10^{-10}$		Cp	$\beta_t \times 10^{-10}$
			(Pa ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}(\text{K}^{-1})$	(J·g ⁻¹ K ⁻¹)	(Pa ⁻¹)
293,15	1,022277	1512,95	4,27	2,07	5,78	4,29
298,15	1,020914	1525,62	4,21	2,57	5,89	4,23
303,15	1,019329	1536,7	4,15	3,03	6,01	4,17
308,15	1,01755	1546,18	4,11	3,46	6,13	4,13
313,15	1,015587	1554,15	4,08	3,85	6,26	4,09
xilitol 0,74497 mol·kg ⁻¹						
T(K)	d (g·(cm ³) ⁻¹)	U (m·s ⁻¹)	$\beta_s \times 10^{-10}$		Cp	$\beta_t \times 10^{-10}$
			(Pa ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}(\text{K}^{-1})$	(J·g ⁻¹ K ⁻¹)	(Pa ⁻¹)
293,15	1,033323	1527,64	4,15	2,07	5,78	4,17

298,15	1,031856	1539,64	4,09	2,57	5,89	4,11
303,15	1,030179	1550,05	4,04	3,03	6,01	4,06
308,15	1,028317	1558,93	4,00	3,46	6,13	4,02
313,15	1,02628	1566,36	3,97	3,85	6,26	3,99
xilitol 0,99901 mol·kg ⁻¹						
			$\beta_s \times 10^{-10}$		Cp	$\beta_t \times 10^{-10}$
T(K)	d (g·(cm ³) ⁻¹)	U (m·s ⁻¹)	(Pa ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}(\text{K}^{-1})$	(J·g ⁻¹ K ⁻¹)	(Pa ⁻¹)
293,15	1,043883	1541,83	4,03	2,07	5,78	4,05
298,15	1,042267	1553,16	3,98	2,57	5,89	4,00
303,15	1,040505	1563,05	3,93	3,03	6,01	3,95
308,15	1,038516	1571,38	3,90	3,46	6,13	3,92
313,15	1,036463	1578,26	3,87	3,85	6,26	3,89

Anexo C. Teoría de la partícula escalonada. Volumen y área superficial de van der Waals calculados para los α -aminoácidos, Coeficientes B_1 y B_3 para α -aminoácidos en mezcla poliol-agua.

Tabla C1. Contribuciones de grupo al volumen y al área superficial de van der Waals según Bondi [54].

Grupo	V_w (cm ³ ·mol ⁻¹)	$A_w \times 10^9$ (cm ² ·mol ⁻¹)
CH ₂	10,23	1,35
-C=O	11,7	1,6
-OH	8,04	1,46
CH	6,78	0,57
CH ₃	13,67	2,12
-NH ₂	10,54	1,74

Tabla C2. Volumen y área superficial de van der Waals calculados para los α -aminoácidos a partir del método de contribución de Bondi.

α -aminoácido	V_w (cm ³ ·mol ⁻¹)	$A_w \times 10^9$ (cm ² ·mol ⁻¹)
glicina	40,51	6,15
α -alanina	50,73	7,49
ácido α -aminobutírico	60,96	8,84
norvalina	71,19	10,19
norleucina	81,42	11,54

Tabla C3. Diferencia entre el volumen molar parcial a dilución infinita y el volumen de van der Waals en función del área superficial de van der Waals para cada α -aminoácido, en cada concentración de la mezcla meso eritritol-agua.

$\bar{V}_2^\circ - V_w \text{ (cm}^3\cdot\text{mol}^{-1}\text{)}$					
meso-eritritol 0,25315 mol·kg⁻¹					
	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	-0,54	0,38	1,04	2,20	3,01
α -alanina	9,12	9,36	9,63	9,87	10,25
ácido α -aminobutírico	12,48	12,92	13,50	14,07	14,41
norvalina	18,09	18,56	18,90	19,54	20,21
norleucina	14,39	15,50	17,43	19,09	20,67
meso-eritritol 0,50045 mol·kg⁻¹					
	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	0,74	1,39	2,52	3,38	4,21
α -alanina	9,41	9,65	10,00	10,24	10,61
ácido α -aminobutírico	13,06	13,43	13,87	14,33	14,73
norvalina	18,54	18,99	19,36	19,91	20,51
norleucina	15,46	16,78	18,50	19,84	21,47
meso-eritritol 0,75015 mol·kg⁻¹					
	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	2,04	2,90	3,80	4,62	5,33
α -alanina	9,73	9,95	10,26	10,53	10,91
ácido α -aminobutírico	13,47	13,81	14,33	14,67	15,03
norvalina	18,91	19,38	19,83	20,22	20,80
norleucina	17,43	18,80	20,24	21,35	22,42
meso-eritritol 0,99746 mol·kg⁻¹					
	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	2,79	3,62	4,61	5,19	5,99
α -alanina	10,00	10,20	10,55	10,82	11,11
ácido α -aminobutírico	13,79	14,18	14,58	14,94	15,32
norvalina	19,32	19,75	20,12	20,50	21,01

norleucina	19,38	20,72	21,99	23,17	23,88
------------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla C4. Diferencia entre el volumen molar parcial a dilución infinita y el volumen de van der Waals en función del área superficial de van der Waals para cada α -aminoácido, en cada concentración de la mezcla xilitol-agua.

$\bar{V}_2^{\circ} - V_w \text{ (cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$					
xilitol 0,25000 mol·kg ⁻¹					
	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	0,63	1,61	2,94	3,87	4,85
α -alanina	13,52	13,64	14,00	14,25	14,44
ácido α -aminobutírico	14,12	14,30	14,51	14,69	14,91
norvalina	20,27	20,39	20,71	20,90	21,18
norleucina	20,04	22,28	23,99	25,60	26,83
xilitol 0,49988 mol·kg ⁻¹					
	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	1,96	3,11	3,99	4,58	5,40
α -alanina	13,87	13,95	14,23	14,48	14,68
ácido α -aminobutírico	14,35	14,55	14,79	15,02	15,22
norvalina	20,45	20,64	20,86	21,06	21,30
norleucina	22,85	24,20	25,69	27,17	28,52
xilitol 0,75012 mol·kg ⁻¹					
	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	3,16	3,90	4,77	5,34	5,97
α -alanina	14,24	14,36	14,58	14,74	15,00
ácido α -aminobutírico	14,60	14,82	15,06	15,23	15,45
norvalina	20,61	20,83	21,03	21,25	21,50
norleucina	24,76	25,97	27,18	28,27	29,52
xilitol 0,99989 mol·kg ⁻¹					
	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
glicina	3,73	4,40	5,36	5,98	6,58

α -alanina	14,56	14,68	14,89	15,06	15,29
ácido α -aminobutírico	14,89	15,15	15,32	15,48	15,67
norvalina	20,80	20,97	21,21	21,37	21,62
norleucina	25,68	27,08	28,08	29,23	30,63

Tabla C5. Coeficientes B_1 para α -aminoácidos en mezcla meso eritritol-agua.

meso-eritritol 0,25315 mol·kg ⁻¹					
$B_1 \times 10^{-9}$ (cm)	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
	4,40	4,31	4,26	4,17	4,14
meso-eritritol 0,50045 mol·kg ⁻¹					
$B_1 \times 10^{-9}$ (cm)	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
	4,23	4,20	4,04	3,98	3,94
meso-eritritol 0,75015 mol·kg ⁻¹					
$B_1 \times 10^{-9}$ (cm)	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
	4,03	3,96	3,87	3,78	3,75
meso-eritritol 0,99746 mol·kg ⁻¹					
$B_1 \times 10^{-9}$ (cm)	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
	3,96	3,89	3,75	3,72	3,66

Tabla C6. Coeficientes B_1 para α -aminoácidos en mezcla xilitol-agua.

xilitol 0,25000 mol·kg ⁻¹					
$B_1 \times 10^{-9}$ (cm)	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
	4,42	4,23	3,99	3,82	3,67
xilitol 0,49988 mol·kg ⁻¹					
$B_1 \times 10^{-9}$ (cm)	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
	4,15	3,95	3,80	3,71	3,58
xilitol 0,75012 mol·kg ⁻¹					
$B_1 \times 10^{-9}$ (cm)	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
	3,91	3,80	3,66	3,58	3,49

xilitol 0,99989 mol·kg ⁻¹					
B₁x 10⁻⁹ (cm)	293,15 K	298,15 K	303,15 K	308,15 K	313,15 K
	3,82	3,72	3,56	3,46	3,38

Tabla C7. Coeficientes B_3 para α -aminoácidos en mezcla meso eritritol-agua.

meso-eritritol 0,25215 mol·kg ⁻¹				
T(K)	Bt ×10 ⁵ (atm ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}$ (K ⁻¹)	Hc	B₃ (cm₃·mol⁻¹)
293,15	4,524	2,07	8,54×10 ¹	0,6294
298,15	4,449	2,57	1,10×10 ²	0,6284
303,15	4,387	3,03	1,33×10 ²	0,6285
308,15	4,336	3,46	1,57×10 ²	0,6299
313,15	4,296	3,85	1,80×10 ²	0,6323
meso-eritritol 0,50045 mol·kg ⁻¹				
T(K)	Bt ×10 ⁵ (atm ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}$ (K ⁻¹)	Hc	B₃ (cm₃·mol⁻¹)
293,15	4,418E-05	2,07E-04	8,65×10 ¹	0,6230
298,15	4,350E-05	2,57E-04	1,11×10 ²	0,6225
303,15	4,293E-05	3,03E-04	1,35×10 ²	0,6232
308,15	4,247E-05	3,46E-04	1,59×10 ²	0,6250
313,15	4,210E-05	3,85E-04	1,82×10 ²	0,6278
meso-eritritol 0,75015 mol·kg ⁻¹				
T(K)	Bt ×10 ⁵ (atm ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}$ (K ⁻¹)	Hc	B₃ (cm₃·mol⁻¹)
293,15	4,311	2,07	8,76×10 ¹	0,6150
298,15	4,247	2,57	1,12×10 ²	0,6149
303,15	4,195	3,03	1,37×10 ²	0,6160
308,15	4,152	3,46	1,61×10 ²	0,6181
313,15	4,119	3,85	1,84×10 ²	0,6212
meso-eritritol 0,99746 mol·kg ⁻¹				

T(K)	Bt $\times 10^5$		Hc	B₃ (cm ₃ ·mol ⁻¹)
	(atm ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}$ (K ⁻¹)		
293,15	4,217	2,07	$8,87 \times 10^1$	0,6091
298,15	4,158	2,57	$1,14 \times 10^2$	0,6095
303,15	4,111	3,03	$1,38 \times 10^2$	0,6111
308,15	4,073	3,46	$1,63 \times 10^2$	0,6136
313,15	4,043	3,85	$1,87 \times 10^2$	0,6172

Tabla C8. Coeficientes B_3 para α -aminoácidos en mezcla xilitol-agua.

xilitol 0,25000 mol·kg ⁻¹				
T(K)	Bt $\times 10^5$		Hc	B₃ (cm ₃ ·mol ⁻¹)
	(atm ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}$ (K ⁻¹)		
293,15	4,468	2,07	$8,53 \times 10^1$	0,6206
298,15	4,414	2,57	$1,10 \times 10^2$	0,6224
303,15	4,353	3,03	$1,33 \times 10^2$	0,6226
308,15	4,304	3,46	$1,57 \times 10^2$	0,6241
313,15	4,264	3,85	$1,80 \times 10^2$	0,6264
xilitol 0,49988 mol·kg ⁻¹				
T(K)	Bt $\times 10^5$		Hc	B₃ (cm ₃ ·mol ⁻¹)
	(atm ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}$ (K ⁻¹)		
293,15	4,349	2,07	$8,73 \times 10^1$	0,6188
298,15	4,283	2,57	$1,12 \times 10^2$	0,6186
303,15	4,228	3,03	$1,36 \times 10^2$	0,6195
308,15	4,184	3,46	$1,60 \times 10^2$	0,6214
313,15	4,149	3,85	$1,84 \times 10^2$	0,6243
xilitol 0,75012 mol·kg ⁻¹				
T(K)	Bt $\times 10^5$		Hc	B₃ (cm ₃ ·mol ⁻¹)
	(atm ⁻¹)	$\alpha \times 10^{-4}$ (K ⁻¹)		
293,15	4,220	2,07	$8,89 \times 10^1$	0,6115
298,15	4,161	2,57	$1,14 \times 10^2$	0,6118

303,15	4,112	3,03	$1,39 \times 10^2$	0,6131
308,15	4,073	3,46	$1,63 \times 10^2$	0,6155
313,15	4,043	3,85	$1,87 \times 10^2$	0,6189
xilitol $0,99989 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$				
	$B_t \times 10^5$			B_3
T(K)	(atm^{-1})	$\alpha \times 10^{-4} (\text{K}^{-1})$	Hc	($\text{cm}_3 \cdot \text{mol}^{-1}$)
293,15	4,102	2,07	$9,04 \times 10^1$	0,6042
298,15	4,049	2,57	$1,16 \times 10^2$	0,6052
303,15	4,005	3,03	$1,41 \times 10^2$	0,6070
308,15	3,970	3,46	$1,66 \times 10^2$	0,6098
313,15	3,943	3,85	$1,90 \times 10^2$	0,6135

Anexo D. Intensidad de corriente y trabajo eléctrico generado para calibración eléctrica del microcalorímetro de flujo LKB 10700-1

Tabla D1.. Intensidad de corriente empleada y trabajo eléctrico generado para calibración eléctrica del microcalorímetro de flujo LKB 10700-1.

Intensidad			Diferencia	
de	Potencia	Línea base	de	Potencia
corriente	(V)	$\times 10^{-4}$ (V)	potencial	eléctrica
(mA)	(V)	$\times 10^{-4}$ (V)	(V)	(W)
3,0	$5,67 \times 10^{-4}$	5,61	$2,31 \times 10^{-5}$	$4,50 \times 10^{-4}$
6,0	$5,48 \times 10^{-4}$	4,36	$3,94 \times 10^{-6}$	$1,80 \times 10^{-3}$
7,0	$5,68 \times 10^{-4}$	4,14	$2,39 \times 10^{-5}$	$2,45 \times 10^{-3}$
8,0	$5,94 \times 10^{-4}$	3,98	$5,04 \times 10^{-5}$	$3,20 \times 10^{-3}$
9,0	$6,30 \times 10^{-4}$	3,69	$8,64 \times 10^{-5}$	$4,05 \times 10^{-3}$
10	$1,11 \times 10^{-3}$	8,23	$5,71 \times 10^{-4}$	$5,00 \times 10^{-3}$
20	$2,05 \times 10^{-3}$	7,20	$1,50 \times 10^{-3}$	$2,00 \times 10^{-2}$
30	$3,74 \times 10^{-3}$	6,37	$3,19 \times 10^{-3}$	$4,50 \times 10^{-2}$
40	$6,15 \times 10^{-3}$	5,70	$5,60 \times 10^{-3}$	$8,00 \times 10^{-2}$
50	$9,30 \times 10^{-3}$	5,12	$8,75 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-1}$

Anexo E. Potencia, flujos y molalidades utilizados para determinar las respectivas entalpías de dilución de glicina, α -alanina, ácido α -aminobutírico, meso eritritol y xilitol.

Tabla E1. Diferencia de potencial, potencia eléctrica, flujos y molalidades de glicina para determinar entalpía de dilución

V	Potencia μW	m_1 $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	M_1 $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$	f_1 $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$	ΔH_{dil} $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$
$2,08\times 10^{-4}$	$2,94\times 10^3$	1,97315	0,07507	3,6674	466,6
$1,52\times 10^{-4}$	$2,14\times 10^3$	1,74394	0,07507	3,6674	378,8
$1,25\times 10^{-4}$	$1,76\times 10^3$	1,49488	0,07507	3,6674	357,7
$9,22\times 10^{-5}$	$1,30\times 10^3$	1,24137	0,07507	3,6674	312,5
$6,28\times 10^{-5}$	$8,86\times 10^2$	0,99936	0,07507	3,6674	259,9
$1,90\times 10^{-5}$	$2,69\times 10^2$	0,74548	0,07507	3,6674	103,8

Tabla E2. Diferencia de potencial, potencia eléctrica, flujos y molalidades de α -alanina para determinar entalpía de dilución

V	Potencia μW	m_1 $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	M_1 $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$	f_1 $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$	ΔH_{dil} $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$
$-7,16\times 10^{-5}$	$-1,01\times 10^3$	1,49513	0,08909	3,6674	-209,1
$-4,64\times 10^{-5}$	$-6,55\times 10^2$	1,24526	0,08909	3,6674	-159,2
$-2,63\times 10^{-5}$	$-3,71\times 10^2$	0,99867	0,08909	3,6674	-110,3
$-1,72\times 10^{-5}$	$-2,43\times 10^2$	0,74061	0,08909	3,6674	-95,2

Tabla E3. Diferencia de potencial, potencia eléctrica, flujos y molalidades del ácido α -aminobutírico para determinar entalpía de dilución

V	Potencia Mw	m_1 $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$	M_1 $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$	f_1 $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$	ΔH_{dil} $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$
$-1,76\times 10^{-4}$	$-2,48\times 10^3$	1,74116	0,10306	3,6674	-457,9

$-1,29 \times 10^{-4}$	$-1,82 \times 10^3$	1,47434	0,10306	3,6674	-388,6
$-8,92 \times 10^{-5}$	$-1,26 \times 10^3$	1,25065	0,10306	3,6674	-310,1
$-5,83 \times 10^{-5}$	$-8,23 \times 10^2$	0,98713	0,10306	3,6674	-250,3
$-3,25 \times 10^{-5}$	$-4,59 \times 10^2$	0,74525	0,10306	3,6674	-180,6

Tabla E4. Diferencia de potencial, potencia eléctrica, flujos y molalidades de meso eritritol para determinar entalpía de dilución

V	Potencia μW	m_2 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$	M_2 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$	f_2 $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$	ΔH_{dil} $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
$-2,21 \times 10^{-4}$	$-3,12 \times 10^3$	1,98176	0,12212	3,021	-647,9
$-1,45 \times 10^{-4}$	$-2,05 \times 10^3$	1,74064	0,12212	3,021	-473,4
$-1,24 \times 10^{-4}$	$-1,76 \times 10^3$	1,50148	0,12212	3,021	-458,1
$-8,75 \times 10^{-5}$	$-1,23 \times 10^3$	1,23996	0,12212	3,021	-379,5
$-4,19 \times 10^{-5}$	$-5,91 \times 10^2$	0,99999	0,12212	3,021	-219,5

Tabla E5. Diferencia de potencial, potencia eléctrica, flujos y molalidades de xilitol para determinar entalpía de dilución

V	Potencia μW	m_2 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$	M_2 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$	f_2 $\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$	ΔH_{dil} $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$
$-7,96 \times 10^{-5}$	$-1,12 \times 10^3$	1,49243	0,15215	3,021	-305,8
$-4,87 \times 10^{-5}$	$-6,88 \times 10^3$	1,24875	0,15215	3,021	-216,9
$-2,53 \times 10^{-5}$	$-3,58 \times 10^2$	0,99616	0,15215	3,021	-136,8
$-1,43 \times 10^{-5}$	$-2,02 \times 10^2$	0,74869	0,15215	3,021	-99,4

Anexo F. Diferencia de potencial y potencia eléctrica de las mezclas de α -aminoácidos en meso eritritol y xilitol.

Tabla F1. Diferencia de potencial y potencia eléctrica de la mezcla glicina-meso eritritol

V mezcla $\times 10^{-4}V$	Potencia mezcla $\times 10^{-3}W$	Potencia mezcla $\times 10^3\mu W$
-2,61	-3,69	-3,69
-1,89	-2,67	-2,67
-1,49	-2,10	-2,10
-1,03	-1,46	-1,46
3,64	5,14	5,14
-3,20	-4,52	-4,52

Tabla F2. Diferencia de potencial y potencia eléctrica de la mezcla α -alanina-meso eritritol

V mezcla V	Potencia mezcla W	W mezcla μW
$1,01 \times 10^{-5}$	$1,43 \times 10^{-4}$	$1,43 \times 10^2$
$1,39 \times 10^{-5}$	$1,97 \times 10^{-4}$	$1,97 \times 10^2$
$-1,23 \times 10^{-5}$	$-1,74 \times 10^{-4}$	$-1,74 \times 10^2$
$6,25 \times 10^{-6}$	$8,82 \times 10^{-5}$	$8,82 \times 10^1$

Tabla F3. Diferencia de potencial y potencia eléctrica de la mezcla ácido α -aminobutírico-meso eritritol

V mezcla $\times 10^{-5}V$	Potencia mezcla $\times 10^{-4}W$	W mezcla $\times 10^2\mu W$
7,00	9,88	9,88
4,68	6,60	6,60

2,78	3,93	3,93
3,07	4,33	4,33
1,33	1,88	1,88

Tabla F4. Diferencia de potencial y potencia eléctrica de la mezcla glicina-xilitol

V mezcla	Potencia mezcla	W mezcla
V	W	μW
$-6,74 \times 10^{-4}$	$-9,51 \times 10^{-3}$	$-9,51 \times 10^3$
$-5,62 \times 10^{-4}$	$-7,94 \times 10^{-3}$	$-7,94 \times 10^3$
$-3,17 \times 10^{-4}$	$-4,47 \times 10^{-3}$	$-4,47 \times 10^3$
$-3,39 \times 10^{-5}$	$-4,78 \times 10^{-4}$	$-4,78 \times 10^2$

Tabla F5. Diferencia de potencial y potencia eléctrica de la mezcla α -alanina-xilitol

V mezcla	Potencia mezcla	W mezcla
$\times 10^{-5} V$	$\times 10^{-4} W$	$\times 10^2 \mu W$
-1,31	-1,85	-1,85
2,02	2,85	2,85
-1,04	-1,47	-1,47
2,55	3,60	3,60

Tabla F6. Diferencia de potencial y potencia eléctrica de la mezcla ácido α -aminobutírico-xilitol

V mezcla	Potencia mezcla	W mezcla
V	W	μW
$1,73 \times 10^{-4}$	$2,44 \times 10^{-3}$	$2,44 \times 10^3$
$1,34 \times 10^{-4}$	$1,89 \times 10^{-3}$	$1,89 \times 10^3$
$3,57 \times 10^{-5}$	$5,04 \times 10^{-4}$	$5,04 \times 10^2$
$2,54 \times 10^{-5}$	$3,59 \times 10^{-4}$	$3,59 \times 10^2$

Anexo G. Determinación de las incertidumbres en las medidas experimentales

G.1. Método para determinar las incertidumbres

El valor de la incertidumbre de los resultados obtenidos se determina con base a la propagación de la incertidumbre a partir del error aleatorio [70] según:

Para las ecuaciones que involucren suma y resta, la incertidumbre en la respuesta obtenida, ℓ , es:

$$\text{Incertidumbre en suma y resta: } e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots e_n^2} \quad (\text{G1})$$

Donde $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$ son las incertidumbres de los términos individuales que participan en el cálculo.

Para aquellos cálculos que involucren multiplicación y división, es necesario primero convertir todas las incertidumbres en porcentajes de incertidumbre relativa. Y posteriormente si calcular la incertidumbre del producto o cociente de la siguiente manera:

$$\text{Incertidumbre en multiplicación y división: } \%e = \sqrt{(\%e_1)^2 + (\%e_2)^2 + (\%e_3)^2 + \dots (\%e_n)^2} \quad (\text{G2})$$

Donde $\%e_1, \%e_2, \%e_3, \dots, \%e_n$ son los porcentajes de incertidumbre relativa de los términos individuales que participan en el cálculo.

G. 2. Determinación de la incertidumbre en la molalidad

El porcentaje de incertidumbre para la molalidad de las soluciones preparadas para la calorimetría, se determina de la siguiente manera:

$$\%e(m) = \sqrt{(\%e(g_1))^2 + (\%e(g_2))^2} \quad (\text{G3})$$

Donde $e(g_1)$ y $e(g_2)$ son las incertidumbres de las masas de solvente y soluto respectivamente, en el proceso de preparación de las soluciones y tienen un valor de $\pm 1,0 \times 10^{-5}$ g. Con base a estos

valores y aplicando el método descrito se encuentra que la máxima incertidumbre encontrada en la determinación de la molalidad es $\pm 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$.

G.3. Determinación de la incertidumbre en el volumen molar aparente:

La incertidumbre en el volumen molar aparente fue calculada a partir de la Ecuación G5, usando la ley de propagación de la incertidumbre [71], obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$dV_{\phi} = \left[\frac{dV_{\phi}}{dm} \right]_{\rho} dm + \left[\frac{dV_{\phi}}{d\rho} \right] d\rho \quad (\text{G4})$$

Por tanto la incertidumbre queda:

$$eV_{\phi} = \left[\frac{dV_{\phi}}{dm} \right]_{\rho} em + \left[\frac{dV_{\phi}}{d\rho} \right] e\rho \quad (\text{G5})$$

$e\rho$ hace referencia a la incertidumbre experimental en la densidad y tiene un valor de $1 \times 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

El porcentaje de incertidumbre en la determinación de la molalidad de las soluciones de los α -aminoácidos, se determinó de la siguiente manera:

$$m = \frac{n_{sto}}{kg_{svte}} \rightarrow m = f(m_{sto}, m_{svte}) \quad (\text{G6})$$

$$m = \frac{m_{sto}}{10^{-3} M_{sto} m_{svte}} \quad (\text{G7})$$

Por tanto, la incertidumbre se determinó:

$$em = \left[\frac{dm}{dm_{sto}} \right]_{m_{sto}} em_{sto} + \left[\frac{dm}{dm_{svte}} \right]_{m_{sto}} em_{svte} \quad (\text{G8})$$

En donde em_{sto} y em_{svte} hace referencia a las incertidumbres de las masas de solvente y soluto, respectivamente, en el proceso de preparación de las soluciones y tienen un valor de $\pm 1,0 \times 10^{-5} \text{ g}$.

Con base a estos valores y aplicando el método descrito se encuentra que la máxima incertidumbre encontrada en la determinación de la molalidad es $\pm 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$.

En cuanto a las incertidumbres determinadas para los volúmenes molares aparentes se encontró que para las cuatro concentraciones medidas de glicina, α -alanina, ácido α -amonobutírico de menor a mayor, fueron $0,39 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, $0,20 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, $0,13 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, $0,09 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, y para norvalina y norleucina, los valores de incertidumbre encontrados en función del aumento de la concentración fueron $0,74 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, $0,41 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, $0,24 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, $0,19 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ respectivamente, los valores en las incertidumbres disminuyen a medida que aumenta la concentración de los aminoácidos.

G.4. Determinación de la incertidumbre en las entalpías de dilución

La incertidumbre en las entalpías de dilución se determinó mediante el método de propagación del error de la siguiente manera:

$$\%e(\Delta H_{dil}) = \pm \sqrt{(\%e(W))^2 + (\%e(m_i))^2 + (\%e(m_f))^2 + (\%e(f))^2} \quad (G9)$$

Para determinar la incertidumbre de W, se necesitaba la incertidumbre en la determinación de ε que hace referencia a la constante del calorímetro y tiene un valor de $\pm 0,1 \text{ W} \cdot \text{V}^{-1}$, y para V el valor experimental de la incertidumbre en todos los casos tiene un valor menor a $\pm 1,0 \times 10^{-5} \text{ V}$, el valor de incertidumbre determinado para W es $\pm 1,0 \times 10^{-4} \text{ W}$.

Haciendo uso de la ecuación G1 y G2 y según los datos experimentales, se determinó la incertidumbre de f tiene un máximo valor de $\pm 6,0 \times 10^{-5} \text{ mg} \cdot \text{s}^{-1}$, para el caso de m_i el valor es de $\pm 1,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ y para m_f el valor es de $\pm 1,0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$. De esta forma la incertidumbre en la determinación de las entalpías de dilución es de $\pm 0,1 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$

Bibliografía

1. Franks, F., Water: A Matrix of Life. *Roy. Soc. Chem.* Cambridge. Second Edition. Chapter 6, (2000), 60-68.
2. Franks, F. ed., "Water: A Comprehensive Treatise", Vol II y IV, *Plenum Press*, New York, 1978.
3. Hura, G., and Gordon, T.H. Water structure from scattering experiments and simulation. *Chem. Rev.* **102**, (2002), 2651-2669
4. Prausnitz, J. M., Lichtenthaler, R. N., Acevedo, E. G., Termodinámica Molecular de los equilibrios de fases. *Prentice Hall*. Tercera edición. Madrid. 2000. 74-76.
5. Franks, F., Solute Interactions in Dilute Aqueous Solution: Microcalorimetric Study of the Hydrophobic Interaction. *J. Chem. Soc.. Faraday Trans.* **72**, (1976), 359-367.
6. Zhenning, Y., Jianji, W., Wenbin, L., Volumen molar aparente y coeficientes de viscosidad de algunos alfa aminoácidos en solución acuosa de 278.15 a 308.15K. Henan normal University. *Therm. Acta.* **334**, (1999), 17-27
7. McMillan, W.G., Mayer, J.E., The statistical thermodynamics of multicomponent systems. *J. Chem. Phys.* **13**, (1945), 276-305.
8. Cabani, S., Gianni, P., Mollica, V., Lepori, L., Group contributions to the thermodynamic properties of Non-Ionic organic solutes in dilute aqueous solution. *J. Sol. Chem.* **10**, (1981), 563-581.
9. Gianni, P., Lepori, L. Group contributions to the partial molar volume of ionic organic solutes in aqueous solution. *J. Sol. Chem.* **25**, (1996), 1-42.
10. Romero, C.M., Munar, R. Apparent molar volumes of amino acids in very dilute aqueous solutions at 25.00 °C. *Phys and Chem of Liq* **36**, (1998), 83-90
11. Kharakoz, D. P., Volumetric properties of proteins and their analogs in diluted water solutions: 1. Partial volumes of amino acids at 15–55 °C. *Biophys. Chem.* **34**, (1989), 115-125.
12. Hakin, A. W., Duke, M. M., Klassen, S. A., MacKay, R. M., Preuss, K. E., Apparent molar heat capacities and volumes of some aqueous solutions of aliphatic amino acids at 288.15, 298.15, 313.15 and 328.15 K. *Can. J. Chem.* **72**, (1994), 362-368.

13. Romero, C., Negrete, F., Effect of Temperature on Partial Molar Volumes and Viscosities of Aqueous Solutions of α -DL- Aminobutyric Acid, DL-Norvaline and DL-Norleucine. *Phys. Chem. Liq.* **42**, (2004), 261-267.
14. Romero, C., Cadena, J., Effect of Temperature on the Volumetric Properties of α - ω - Amino Acids in Dilute Aqueous Solutions. *J. Sol. Chem.* **39**, (2010), 1474-1483.
15. Zhao, H., Viscosity B-Coefficients and standard Partial Molar Volumes of Amino Acids and their roles in interpreting the protein (enzyme) stabilization. *Biophys. Chem.* **122**, (2006), 157-183.
16. Negrete, F.A., Efecto de la temperature sobre propiedades volumetricas y viscosimetricas en soluciones acuosas de ácido aminobutirico, norvalina y norleucina. *Tesis de Maestría-Química*. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Química. Bogotá. **2002**.
17. Humphrey, R. S., Hedwig, G. R., Watson, I. D., Malcolm, G. N., The partial molar enthalpies in aqueous solution of some amino acids with polar and non-polar side chains. *J. Chem. Thermodyn.* **12**, (1980), 595-603.
18. Romero, C.M., Suarez, A.F., Lamprecht, I., Effect of temperature on the dilution enthalpies of carboxylic acids in aqueous solutions, *Thermochim. Acta.* **483**, (2009), 41–44.
19. Romero, C.M., González, M.E., Lamprecht, I., Enthalpy of dilution of aliphatic amides in aqueous solutions at temperatures between 293.15 K and 308.15 K, *Thermochim. Acta.* **488**, (2009), 49–53.
20. Palecz, B., Enthalpies of Solution and Dilution of Some L- α -Amino Acids in Water at 298.15 K, *J. Thermal Anal.* **54**, (1998), 257–263.
21. Romero, C.M., Moreno, E., Rojas, J. L., Apparent molal volumes and viscosities of DL- α -alanine in water- alcohol mixtures. *Therm. Acta.* **328**, (1999), 33-38.
22. Romero, C., Rojas, J., Apparent Molar Volumes and Viscosities of DL- α -Alanine in Water-Ethanol Mixtures. *Phys. Chem. Liq.* **38**, (2000), 237-243.
23. Romero, C., Páez, M., Thermodynamic Properties of Aqueous Alcohol and Polyol Solutions. *J. Therm. Anal. Calorim.* **70**, (2002), 263-267.

24. Romero, C., Lozano, J., Giraldo, G., Effect of Temperature on Partial Molar Volumes and Viscosities of dilute Aqueous Solutions of 1-Butanol, 1,2-Butanediol, 1,4-Butanediol, 1,2,4-Butanetriol, and Butanetetrol. *Phys. Chem. Liq.* **46**, (2008), 78-85.
25. Romero, C., Páez, M., Pérez, D., A comparative study of the Volumetric Properties of dilute aqueous solutions of 1-Propanol, 1,2-Propanediol, 1,3-Propanediol, and 1,2,3-Propanetriol at various temperatures. *J. Chem. Thermodyn.* **40**, (2008), 1645-1653.
26. Cibulka, I., Hnedkovsky, L., Hyneica, P., Standar Partial Molar Volumes in water of mono and polyhydric aliphatic alcohols in wide ranges of temperature and pressure. *J. Mol. Liq.* **131**, (2007), 206-215.
27. Jolicoeur, C., Lacroix, G., Thermodynamic Properties of aqueous organic solutes in relation to their structure. Part III. Apparent molar Volumes and Heat Capacities of low molecular weight alcohols and polyols at 25°C. *Can. J. Chem.* **54**, (1976), 624-631.
28. Blodgett, M.B., Ziemer, S.P., Brown, B.R., Niederhauser, T.L., Woolley, E.M., Apparent Molar Volumes and Apparent Molar Heat Capacities of aqueous adonitol, dulcitol, glycerol, meso-erythritol, myo-inositol, D-Sorbitol, and xylitol at temperatures from (278.15 to 368.15)K and at the pressure 0.35 MPa. *J. Chem. Thermodyn.* **39**, (2007), 627-644.
29. Suarez, A. F. *Determinación de las densidades y tensiones superficiales de alcoholes en solución acuosa*. Tesis- Maestría en Química. Universidad Nacional de Colombia- Programa de Maestría en Ciencias- Química. Bogotá. 2004.
30. Fujisawa, M., Marsushita, T., Matsui, Y., Akasaka, K., Kimura, T., Thermodynamic functions of 1,2 alkanediols in dilute aqueous solutions. *J. Therm. Anal. Calorim.* **77**, (2004), 225-231.
31. Origlia, L., Woolley, E. M., Apparent molar volumes and apparent molar heat capacities of aqueous solutions of isomeric butanols at temperatures from 278.15 K to 393.15 K and at the pressure 0.35 MPa. *J. Chem. Thermodyn.* **33**, (2001), 451-468.
32. Romero, C. M., Páez, M. S., Lamprecht, I. Enthalpies of dilution of aqueous solutions of n-butanol, butanediols, 1,2,4- butanetriol y 1,2,3,4-butanetetrol at 298.15K. *Therm. Acta.* **437**, (2005), 26-29.
33. Romero, C. M., Páez, M.S., Arteaga, J., Negrete, F., Effect of temperature on the volumetric properties of dilute aqueous solutions of 1,2-hexanediol, 1,5-hexanediol, 1,6-hexanediol and 2,5-hexanediol. *J. Chem. Thermodyn.* **39**, (2007), 1101-1109.

34. Liu, M., Wang, L., Quian Li, G., Dong, L., Sun, D., Zhu, L., Di, Y., Enthalpy of Dilution and Volumetric Properties of N-glycylglycine in aqueous Xylitol Solutions at T= 298.15K. *J. Chem. Thermodyn.* **43**, (2011), 983-988.
35. Castronuovo, G., Elia, V., Postiglione, C., Velleca, F., Interaction of Amino Acids in concentrated aqueous solutions of Urea or Ethanol. Implications for the mechanism of protein denaturation. *Thermochim. Acta.* **339**, (1999), 11-19.
36. Banipal, T., Singh, G., Lark, B., Partial Molar Volumes of Transfer of some Amino Acids from Water to Aqueous Glycerol Solutions at 25°C. *J. Sol. Chem.* **30**, (2001), 657-670.
37. Yu, L., Zhu, Y., Hu, X., Pang, X., Zhao, M., Enthalpic interactions of some α -amino acids with 1,2-ethanediol in aqueous solutions at 298.15K. *Science Direct.* **252**, (2007), 28-32.
38. Nieto, D.E., Estudio de las propiedades volumétricas y calorimétricas de soluciones acuosas de aminoácidos y alcoholes. *Tesis de Doctorado- Ciencias Química*. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Química. Bogotá. **2006**.
39. Liu, H., Lin, R., Zhang, H., Enthalpic interactions of amino acids with imidazole in aqueous solutions at 298.15K. *Therm. Acta.* **412**, (2004), 7-12.
40. Kaushik, J., Bhat, R., Thermal Stability of Proteins in Aqueous Polyol Solutions: Role of the Surface Tension of Water in the Stabilizing Effect of Polyols. *J. Phys. Chem. B* **102**, (1998), 7058-7066.
41. Xie, G., Timasheff, S.N., The Thermodynamic Mechanism of Protein Stabilization by Trehalose. *Biophys. Chem.* **64**, (1997), 25-43.
42. Romero, C.M., Lozano, M., Sancho, J., Giraldo, G., Thermal stability of β -lactoglobulin in the presence of aqueous solution of alcohols and polyols. *Int. J. Biol. Macromol.* **40**, (2007), 423-428.
43. Romero, C.M., Albis, R. A., Lozano, J.M., Sancho, J., Thermodynamic study of the influence of polyols and glucose on the thermal stability of holo-bovine α -lactalbumin. *J. Therm. Anal. Calorim.* **98**, (2009), 165–171.
44. A. Weissberger, B.W. Rossiter, Physical Methods of Chemistry, Vol. 4, Wiley Interscience, New York, 1972.
45. Instruction Manual Densitometer DSA-5000. Firmware Version V 1.70. Anton Paar (2010).

46. F.J. Millero, S.A. Lo, C. Shin, The apparent molal volumes and adiabatic compressibilities of aqueous amino acids at 25 °C, *J. Phys. Chem.* **82** (1978) 784-792.
47. Hakin, A.W., Copeland, A.K., Liu, J.L., Marriott, R.A., Preuss, K.E., Densities, Apparent Molar Volumes, and Apparent Molar Heat Capacities of L-Arginine, L-Proline and d,l-Methionine in Water at 288.15, 298.15, 313.15, and 328.15 K, *J. Chem. Eng. Data.* **42**, (1997), 84-89.
48. A.K. Mishra, J.C. Ahluwalia, Apparent molal volumes of amino acids, N-acetyl amino acids, and peptides in aqueous solutions, *J. Phys. Chem.* **88**, (1984), 86-92.
49. Yan, Z., Wang, J., Liu, W., Lu, J., Apparent molar volumes and viscosity β -coefficients of some α -amino acids in aqueous solutions from 278.15 to 308.15 K, *Thermochim. Acta.* **334**, (1999), 17-27.
50. Hepler, L.G., Thermal Expansion and Structure in Water and Aqueous Solutions. *Can. J. Chem.* **47**, (1969), 4613-4617.
51. Pierotti, R.A., A Scaled Particle Theory of Aqueous and Nonaqueous Solutions, *Chem. Rev.* **76**, (1976), 717-726.
52. Kell, G.S., Density, Thermal Expansivity, and Compressibility of Liquid Water from 0°C to 150°C: Correlations and Tables for Atmospheric Pressure and Saturation Reviewed and Expressed on 1968 Temperature Scale. *J. Chem. Eng. Data.* **20**, (1975), 97-105.
53. Kell, G.S., Precise Representations of Volume Properties of Water at One Atmosphere. *J. Chem. Eng. Data.* **12**, (1967), 66-69.
54. Bondi, A., Van der Waals Volumes and Radii, *J. Phys. Chem.* **68**, (1964), 441-451.
55. Pierotti, R.A., Aqueous Solutions of Nonpolar Gases, *J. Phys. Chem.* **69**, (1965), 281-288.
56. Terasawa, S., Itsuki, H., Arakawa, S., Contribution of Hydrogen Bonds to the Partial Molar Volumes of Nonionic Solutes in Water, *J. Phys. Chem.* **79**, (1975), 2345-2351.
57. Edward, J.T., Farrell, P.G., Relation between van der Waals and Partial Molal Volumes of Organic Molecules in Water, *Can. J. Chem.* **53**, (1975), 2965-2970
58. Chalikian, T.V., Sarvazyan, A.P., Breslauer, K.J., Partial molar volumes, expansibilities, and compressibilities of α,ω -aminocarboxylic acids in aqueous solutions between 18 and 55 °C, *J. Phys. Chem.* **97**, (1993), 13017-13026.
59. Chalikian, T.V., Likhodi, O., Partial Molar Volumes and Adiabatic Compressibilities of a Series of Aliphatic Amino Acids and Oligoglycines in D₂O. *J. Am. Chem. Soc.* **121**, (1999), 1156-1163.

60. Nieto Roca, D.E., Montaje y Calibración de un calorímetro de flujo LKB 10700-1 para la determinación de calores de disolución de soluciones acuosas de aminoácidos. 2003, *Trabajo de grado*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
61. LKB 10700-1 *Flow Microcalorimeter: Operation Manual*. LKB Produkter AB. (1969)
62. Palecz, B., Piekarski, H., Romanowski, S., Studies on homogeneous interactions between zwitterions of several α -amino acids in water at a temperature of 298.15 K, *J. Mol. Liq.* **84**, (2000), 279–288.
63. Páez, M., *Propiedades termodinámicas de soluciones acuosas de Butanol Butanodiolos, Butanotriol y Butanotetrol en función de la composición a 25,00°C. Tesis- Doctorado en Química*. Universidad Nacional de Colombia- Programa de Doctorado en Ciencias- Química. Bogotá. 2005
64. González, M.E., Efecto de la temperatura sobre los coeficientes de actividad, solubilidad y entalpías de dilución de amidas en solución acuosa. *Tesis- Doctorado en Química*. Universidad Nacional de Colombia- Programa de Doctorado en Ciencias- Química. Bogotá. 2008
65. Lilley, T. H., Barret, G. C., Chemistry and biochemistry of the Amino Acids. London: *Chapman and Hall*. Chapter **21**, (1985).
66. Lilley, T. H., Barret, G. C., Water and Aqueous Solutions. *Adam Hilger*. Bristol. Chapter **1**, (1986), 6-10
67. Andini S., Castronuovo G., Elia V., Velleca F., *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* **94**, (1998), 1271-1275.
68. Yu, L., R.-S.L., Hu X.G., Xu Y., *J. Sol. Chem.* **32**, (2003), 273-281.
69. Palecz, B., Enthalpies of Solution and Dilution of Some L- α -Amino Acids in Water at 298.15 K, *J. Thermal Anal.* **54**, (1998), 257–263.
70. Harris, C., Quantitative Chemical Analysis, 8 Ed, W. H. Freeman and Company, New York, 2010.
71. Taylor, B.N., Kuyatt, C.E.: Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, (1993)
72. Gallardo, M.A., Lilley, T.H., Linsdell, H., Otín, S., Aqueous solution containing amino acids and peptides. Part 29. The enthalpies of dilution of some amino acids at 25°C. *Thermochim. Acta.* **223**, (1993), 41-49.